INFORME No. 1, 2 y 3 (FINAL)
DIAGNÓSTICO, CÁLCULO Y DISEÑO BIOCLIMÁTICO - SIMULACIÓN TÉRMICA

PROYECTO
CENTRO DE ATENCIÓN INMEDIATA CAI
POLICIA NACIONAL
NEIVA-HUILA

Arquitecto JORGE EDUARDO ACOSTA ACOSTA
Magister en Arquitectura Bioclimática

Arquitecto Universidad Piloto de Colombia
Magister Escuela de Arquitectura y Diseño ISTHMUS - Panamá
Magister Universidad de Colima - México

Bogotá D.C. septiembre de 2026

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION
OBJETIVOS
Objetivo general
Objetivos específicos
METODOLOGÍA
NORMAS APLICABLES

CAPITULO 1. DESCRIPCION GENERAL DEL SITIO

1.1. INFORMACION GEOGRAFICA
1.1.1. Localización general
1.1.2. Información geográfica del predio
1.1.3. Localización y características del predio

CAPITULO 2. CONDICIONES METEOROLOGICAS

2.1. CARACTERIZACION DEL CLIMA
2.2. DATOS METEOROLOGICOS
2.2.1. Temperatura
2.2.2. Humedad Relativa
2.2.3. Precipitación
2.2.4. Radiación solar
2.2.5. Vientos predominantes
2.2.6. Brillo Solar

CAPITULO 3. DIAGNOSTICO BIOCLIMATICO

3.1. CALCULO DE MEDIAS HORARIAS DE TEMPERATURAS Y HUMEDADES RELATIVAS
3.2. DIAGRAMA PSICROMÉTRICO
3.3. CÁLCULO TEMPERATURA NEUTRAL Y RANGO DE CONFORT
3.4. RANGO DE CONFORT EN COMPARACIÓN CON LA TEMPERATURA EXTERIOR MES MÁS CÁLIDO
3.5 TRAYECTORIA SOLAR
3.6 ESTRATEGIAS BIOCLIMATICAS RECOMENDADAS
3.6.1. Nivel de implantación
3.6.1.1. Orientación ideal por trayectoria solar y vientos predominantes
3.6.1.2. Fragmentación por ventilación
3.6.2. Forma general de la edificación
3.6.3. Protección solar de la envolvente arquitectónica
3.6.4. Zonificación bioclimática interna

3.6.5. Ventilación natural, climatización híbrida
3.6.6. Materiales y sistema constructivo de la envolvente.
3.6.7. Bioclimática de espacios abiertos
3.6.8 Análisis de preexistencias y corrección del entorno

CAPITULO 4. DISEÑO Y CÁLCULO BIOCLIMATICO

4.1. ESQUEMA BÁSICO DE IMPLANTACIÓN
4.1.1. Orientación por asoleación
4.1.2. Forma general de la edificación
4.2. SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN
4.2.1. Distribución del sistema de climatización
4.3 PROTECCION SOLAR
4.3.1. Protección solar de la envolvente arquitectónica
4.3.1.2. Cálculo de ángulos de sombra (vertical y horizontal), diseño de aleros y máscaras de sombra de eficiencia
4.3.1.2.1. Alero fachada norte
4.3.1.2.2. Alero fachada occidente
4.3.1.2.3. Alero fachada oriente
4.3.1.3. Propiedades térmicas de materiales y sistema constructivo de la envolvente arquitectónica.
4.3.1.3.1. Propiedades térmicas de materiales utilizados en la envolvente arquitectónica
4.3.1.3.2. Sistema constructivo, transmitancia y propiedades térmicas

CAPITULO 5. COMPROBACIÓN, SIMULACIÓN TÉRMICA Y DE CONFORT

5.1. METODOLOGÍA
5.2. SIMULACIÓN TÉRMICA Y DE CONFORT
5.2.1. Parámetros y estrategias de simulación aplicados
5.2.2. Simulación térmica y de estrés de confort índice PMV Fanger
5.2.3. Conclusiones

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica del municipio en el país y departamento.
Figura 2. Localización geográfica en la región
Figura 3. Localización en el municipio
Figura 4. Localización en el sector
Figura 5. Localización - entorno
Figura 6. Paisaje urbano, calle 51
Figura 7. Paisaje urbano, calle 50 A
Figura 8. Paisaje urbano, vista frente del lote
Figura 9. Topografía
Figura 10. Localización Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas
Figura 11. Valores mensuales de temperatura máxima, media y mínima en grados centígrados. Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas
Figura 12. Valores mensuales de humedad relativa. Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas
Figura 13. Valores mensuales de precipitación y número de días con lluvia. Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas
Figura 14. Valores mensuales radiación solar directa, global, difusa
Figura 15. Rosa de Vientos Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas
Figura 16. Valores mensuales de brillo solar. Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas
Figura 17. Isotermas comportamiento medias horarias de temperatura durante el año.
Figura 18. Comportamiento medias horarias de temperatura para el mes más cálido
Figura 19. Isohigras comportamiento medias horarias de humedad relativa durante el año.
Figura 20. Comportamiento medias horarias de humedad relativa para el mes más húmedo
Figura 21. Diagrama psicrométrico.
Figura 22. Límites rango de confort teoría Aulliciems enfoque adaptativo
Figura 23. Gráfico adaptativo de cumplimiento del rango de confort bajo la norma ASHRAE 55.
Figura 24. Límites rango de confort norma ASHRAE 55 (80% - 90% aceptabilidad)
Figura 25. Comportamiento del rango de confort enfoque adaptativo Aulliciems y temperatura exterior
Figura 26. Diagrama estereográfico de trayectoria solar sobre el predio.
Figura 27. Cuestionario de Mahoney con el procedimiento basado en los autores Szokolay, S.V., y Docherty, M (1999) Climate Analysis. PLEA – University of Queensland, Australia
Figura 28. Diagrama de recomendación de implantación edificación
Figura 29. Diagrama de recomendación forma alargada y porosa de la edificación
Figura 30. Diagrama de aislamiento térmico
Figura 31. Diagrama de recomendación forma de cubierta
Figura 32. Diagrama de trayectoria solar costado sur, corte ejemplo
Figura 33. Diagrama de recomendación zonificación bioclimática
Figura 34. Comportamiento del rango de confort enfoque adaptativo Aulliciems y temperatura exterior
Figura 35. Diagrama de ventilación VNC para un espacio típico
Figura 36. Diagrama de ventilación VNC corte para un espacio típico

Figura 37. Diagrama de ventilación en horas de confort y bloqueo en horas fuera de rango de confort con apoyo mecánico
Figura 38. Diagrama de ventilación en horas de confort y bloqueo en horas fuera de rango de confort con apoyo mecánico
Figura 39. Ejemplo de paisajismo protección solar mañana y tarde
Figura 40 Ejemplo de paisajismo para sombreamiento de circulaciones exteriores, plazas y plazoletas en las mañanas y tardes
Figura 41. Diagrama de preexistencias del predio
Figura 42. Diagrama de corrección del entorno
Figura 43. Diagrama de implantación por orientación
Figura 44. Diagrama de forma general de las edificaciones
Figura 45. Distribución del sistema de climatización
Figura 46. Diagrama estereográfico de análisis de trayectoria solar a nivel de implantación
Figura 47. Cálculo alero y porcentaje de eficiencia fachada norte
Figura 48. Simulación y ángulos de sombra vertical y horizontal alero fachada norte
Figura 49. Simulación trayectoria solar alero fachada norte
Figura 50. Cálculo alero y porcentaje de eficiencia fachada occidente
Figura 51. Simulación y ángulos de sombra vertical y horizontal alero fachada occidente
Figura 52. Simulación trayectoria solar alero fachada occidente
Figura 53. Cálculo alero y porcentaje de eficiencia fachada oriente
Figura 54. Simulación y ángulos de sombra vertical y horizontal alero fachada oriente
Figura 55. Simulación trayectoria solar alero fachada oriente
Figura 56. Simulación solar
Figura 57. Simulación componentes sistema constructivo
Figura 58. Evolución de la temperatura interior e índice PMV de confort línea base sin apoyo mecánico
Figura 59. Evolución de la temperatura interior e índice PMV de confort con apoyo mecánico

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Valores mensuales de temperatura máxima, media y mínima en grados centígrados.
Tabla 2. Valores mensuales de humedad relativa.
Tabla 3. Valores de precipitación.
Tabla 4. Valores mensuales radiación solar directa, global, difusa, en watios-horas/M2/día.
Tabla 5. Valores de brillo solar
Tabla 6. Cálculo de medias horarias de temperatura en °C.
Tabla 7. Cálculo de medias horarias de humedad relativa en %.
Tabla 8. Propiedades térmicas de los materiales utilizados
Tabla 9. Propiedades térmicas sistema constructivo muros perimetrales
Tabla 10. Propiedades térmicas sistema constructivo muros internos
Tabla 11. Propiedades térmicas sistema constructivo placa de contrapiso
Tabla 12. Propiedades térmicas sistema constructivo placa de cubierta con aislamiento térmico
Tabla 13. Propiedades térmicas sistema constructivo vidrio de ventanería

INTRODUCCION

Tal y como lo expresa Serra (1999), en su libro Arquitectura y climas, *"Los edificios son barreras a la lluvia, al viento y, a veces, filtros sutiles a la luz y al calor. Rodeados de entornos variables, donde cambian el día y la noche, el calor y el frío, el viento y la calma, la lluvia y el sol; se convierten en refugios de artificiales condiciones, como islas de tranquilidad en un mundo incómodo"(p. 7),* es visible concluir que no debe ser posible concebir la arquitectura sin tener en cuenta el medio que la rodea, y se hace evidente que al existir una relación armónica entre el hombre, naturaleza y arquitectura, florece la finalidad de nuestra profesión, que es la de proporcionar al ser humano su bienestar mediante la búsqueda del confort, sin olvidar el medio natural y realizando propuestas estéticamente bellas.

Ahora bien, si el hombre olvida el medio natural, lo cambia o lo deteriora, se afecta de forma visible su equilibrio, produciéndose fenómenos físicos que alteran el bienestar humano, tales como el calentamiento global, producidos por las grandes emisiones principalmente de CO2 a la atmósfera causadas en gran medida por la generación de energía por medio de combustibles fósiles y en general por fuentes no renovables, lo que conlleva a la degradación de los recursos naturales.

En este contexto, es muy importante la aplicación de la teoría y metodología de la Arquitectura Bioclimática en el diseño ya que de esta manera es posible proporcionar al ocupante del confort necesario para su salud y bienestar; y de otro lado, al implementar sistemas naturales o pasivos en la edificación ya sea para climatización, iluminación, etc., se está haciendo un aporte significativo al ahorro en el consumo energético.

OBJETIVOS

Objetivo general

El propósito de este estudio es realizar el diseño bioclimático del proyecto CENTRO DE ATENCIÓN INMEDIATA CAI – POLICÍA NACIONAL que se localiza en el barrio VILLA CECILIA de la ciudad de NEIVA - HUILA, con el fin de proporcionar condiciones óptimas de confort y minimizar el consumo energético mediante sistemas naturales de climatización.

Objetivos específicos

- Aplicar la teoría y metodología de la Arquitectura Bioclimática al diseño del proyecto, con el fin de proporcionar a sus usuarios un nivel de confort adecuado mediante la aplicación e implementación de sistemas pasivos de climatización (naturales).
- Demostrar que, mediante la aplicación de estrategias de arquitectura bioclimática, se minimiza el consumo energético de una edificación.

METODOLOGIA

La metodología que se va adelantar para el presente trabajo se basa en diferentes procedimientos técnicos y científicos de la teoría de la Arquitectura Bioclimática, para lo cual se proponen los siguientes pasos:

1. Realizar la investigación del clima, levantamiento de estadísticas e información meteorológica y su respectivo análisis.
2. Identificar las características, determinantes y limitantes físicas del sitio y su entorno que afecten el diseño del proyecto.
3. Determinación del rango y condiciones de confort.
4. Diagnóstico bioclimático.
5. Definición de las estrategias bioclimáticas recomendadas.
6. Definición de materiales y sistemas constructivos de la envolvente
7. Diseño y cálculo de protección solar
8. Diseño y cálculo de ventilación
9. Simulación térmica computarizada

NORMAS APLICABLES

- Resolución No. 0194 de *2025 "Por medio de la cual se definen los parámetros y lineamientos de construcción sostenible, se adopta la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones, que sustituye la Resolución 0549 del 2015",* en lo que se refiere a la implementación de estrategias bioclimáticas en la arquitectura.

- ASHRAE 55 – THERMAL ENVORONMENTAL CONDITIONS FOR HUMAN OCCUPANCY, Numeral 5.4 “DETERMINING ACCEPTABLE THERMAL CONDITIONS IN OCCUPANT-CONTROLLED NATURALLY CONDITIONED SPACES” (Determinación de las condiciones térmicas aceptables en espacios con climatización natural controlados por los ocupantes)

- ASHRAE 62.1, VENTILATION AND ACCEPTABLE INDOOR AIR QUALITY, Table 6-1 Minimum Ventilation Rates in Breathing Zone (Ventilación y calidad del aire interior aceptable, tabla 6-1 tasas mínimas de ventilación en la zona de respiración)

CAPITULO 1.

DESCRIPCION GENERAL DEL SITIO

1.1 INFORMACION GEOGRAFICA

1.1.1. Localización general

Neiva es un municipio colombiano, capital del departamento de Huila. Está influenciado por su ubicación en el valle del río Magdalena y su cercanía a la cordillera Oriental de los Andes. El casco urbano está situado en una planicie sobre la margen derecha del río Magdalena frente a una extensa isla fluvial, entre los ríos Las Ceibas y del Oro, enmarcada por las vertientes de la Cordillera Oriental y Central.



Figura 1. Localización geográfica del municipio en el país y departamento.
Fuente: Adaptado a partir de http://maps.google.com

El relieve lo complementan zonas que inician por debajo de 440 MSNMM en el río Magdalena y terminan hacia el este en cerros de por lo menos 3000 MSNMM sobre la Cordillera Oriental. Al Oeste, cuchillas que ascienden a 2.750 MSNMM sobre el ramal de la Cordillera Central. Algunos llanos como el Jardín y la Manguita al norte; Avichente y El Chaparro al oriente; Matamundo al sur y por el occidente corre el río Magdalena que la separa del municipio de Palermo.

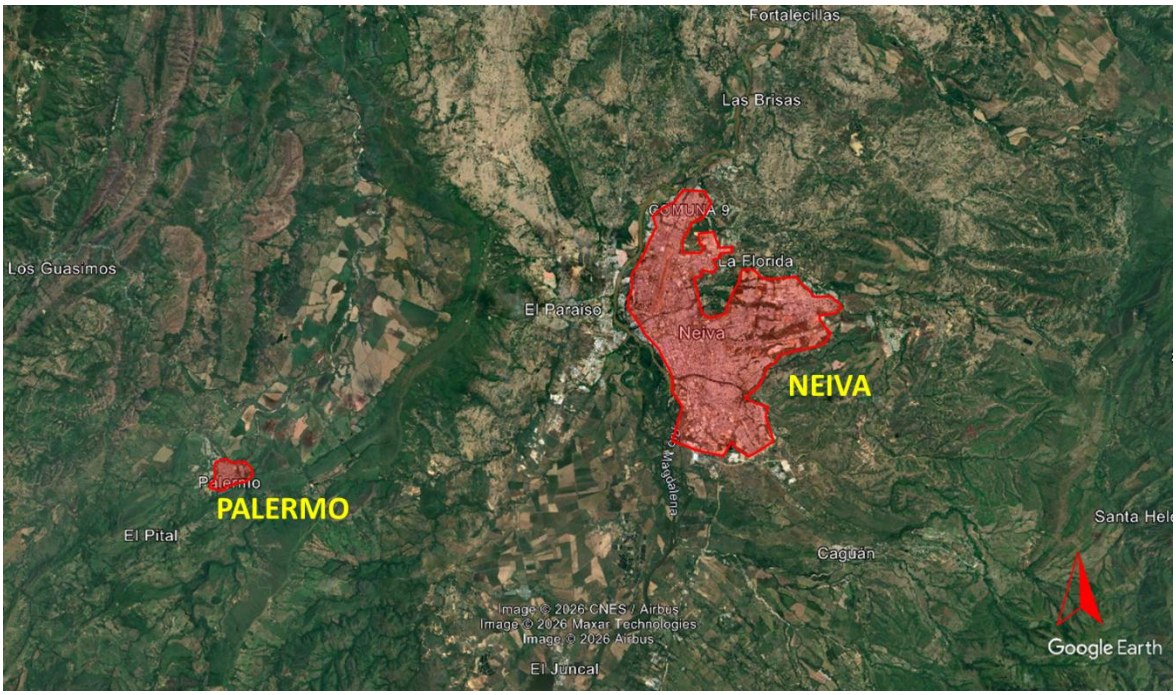


Figura 2. Localización geográfica en la región
Fuente: Adaptado a partir de Google Earth

1.1.2. Información geográfica del predio

Latitud: 2,959393° (Norte)
Longitud: -75,277007° (Oeste)
Altura sobre el nivel del mar: 472 MSNMM
Huso horario: GMT (-5:00)

1.1.3. Localización y características del predio

El predio se encuentra localizado en zona urbana, en el barrio Villa Cecilia, hacia el costado nororiental de Neiva. Su entorno consta de edificaciones entre 1 y 2 pisos de altura. Tiene un área aproximada de 600 M2, con medidas aproximadas por el frente sobre la vía con 25 m y un ancho de 19 m. Su topografía es semi plana, lo cual se deberá corroborar con el respectivo levantamiento topográfico.

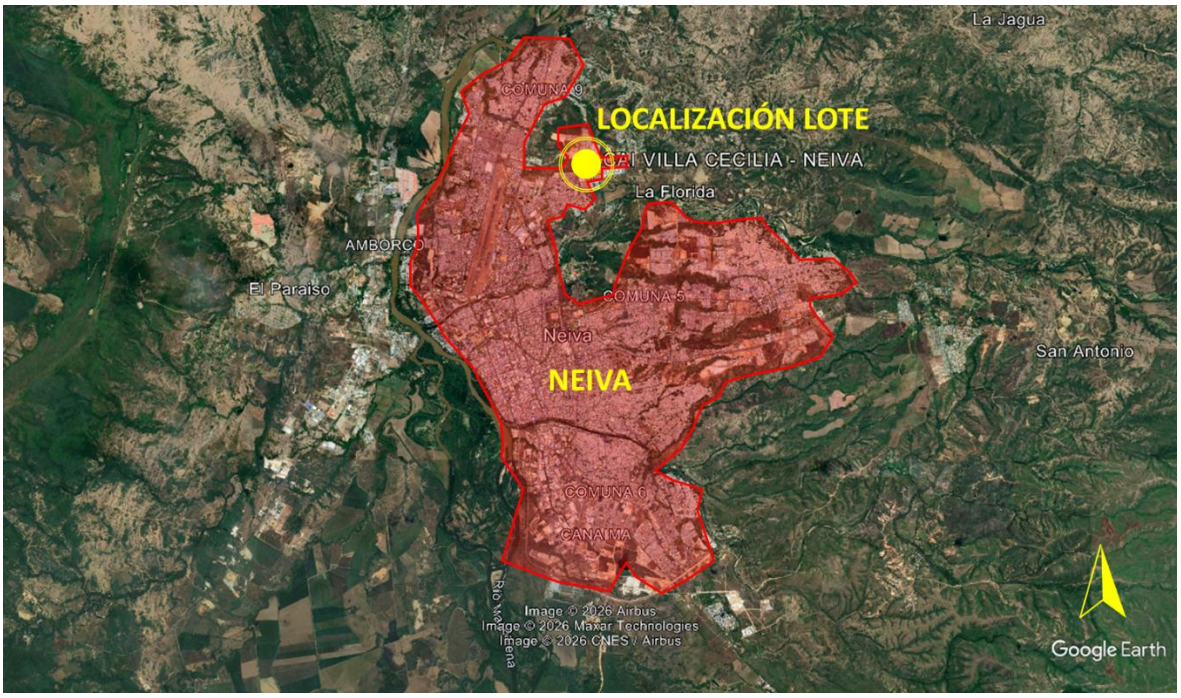


Figura 3. Localización en el municipio
Fuente: Adaptado a partir de Google Earth



Figura 4. Localización en el sector
Fuente: Adaptado a partir de Google Earth



Figura 5. Localización - entorno
Fuente: Adaptado a partir de Google Earth



Figura 6. Paisaje urbano, calle 51
Fuente: Adaptado a partir de Google Earth



Figura 7. Paisaje urbano, calle 50 A
Fuente: Adaptado a partir de Google Earth



Figura 8. Paisaje urbano, vista frente del lote
Fuente: Adaptado a partir de Google Earth



Figura 9. Topografía
Fuente: Adaptado a partir de Google Earth

CAPITULO 2.

CONDICIONES METEOROLOGICAS

2.1 CARACTERIZACION DEL CLIMA

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) clasifica el clima colombiano por medio de pisos térmicos (Clasificación Caldas) donde la altura sobre el nivel del mar es el factor principal que caracteriza cada clima, seguido de la humedad relativa.

Para este caso, el clima de la región se clasifica como **cálido húmedo** de acuerdo al mapa de clasificación climática del IDEAM. En otras fuentes está clasificado como **cálido húmedo isotermal,** (sistema modificado de KÖPPEN-GARCÍA) entendiéndose como un clima que es homogéneo durante todo el año incluyendo los periodos de lluvia. En dicho clima el mayor problema es la acumulación de ganancias por radiación directa la mayor parte del año, con una temperatura media de 27,7°C y una humedad relativa media de 66,4%, tendiendo en algunos meses a ser un clima entre húmedo y seco.

2.2. DATOS METEOROLOGICOS

La recopilación de información se realizó a partir del archivo histórico del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, cuyos datos se tomaron de la Estación Meteorológica “Aeropuerto Benito Salas” código 2111502, ubicada en el aeropuerto, siendo apta para la toma de datos por encontrarse cercana al lote, a una distancia aproximada de 2,15 km en línea recta y, además, por encontrarse a una altura sobre el nivel del mar de 439 MSNMM, cercana al predio (473 MSNMM), en el mismo piso térmico.

De acuerdo al modelo de CALDAS LANG, se encuentra en el Piso Térmico Cálido, localizado entre 0 y 1.000 m, con valores de temperatura superiores a 24°C, según las características locales.

Altura del predio: 473 MSNMM
Altura Aeropuerto Benito Salas: 439 MSNMM

Localización geográfica Estación Meteorológica “Aeropuerto Benito Salas”

Latitud: 2,9486(Norte)
Longitud: -75,2930(Oeste)
Altura sobre el nivel del mar: 439 MSNMM
Huso horario: GMT (-5:00)



Figura 10. Localización Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas
Fuente: Adaptado a partir de google earth pro [Software de computo]. Bogotá, Colombia: Google, Inc.

2.2.1. Temperatura

Se obtuvieron datos mensuales encontrando que el lugar presenta una temperatura media de 27,7°C, la temperatura media máxima se presenta en agosto con 34,5°C, y la temperatura media mínima en diciembre con 22,1°C.

Promedio de temperaturas máximas: 32,9°C
Promedio de temperatura media: 27,7°C
Promedio de temperaturas mínimas: 22,4°C

Tabla 1:
Valores mensuales de temperatura máxima, media y mínima en grados centígrados.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMP MAXIMA °C	32,8	33,0	32,7	32,3	32,5	33,2	33,7	34,5	34,6	32,8	31,5	31,9
TEMP MEDIA ° C	27,7	27,8	27,7	27,3	27,4	27,7	28,1	28,8	28,9	27,7	26,8	27,0
TEMP MINIMA °C	22,3	22,4	22,5	22,4	22,3	22,2	22,5	22,9	23,0	22,4	22,2	22,1

Nota. Fuente: Adaptado a partir de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas

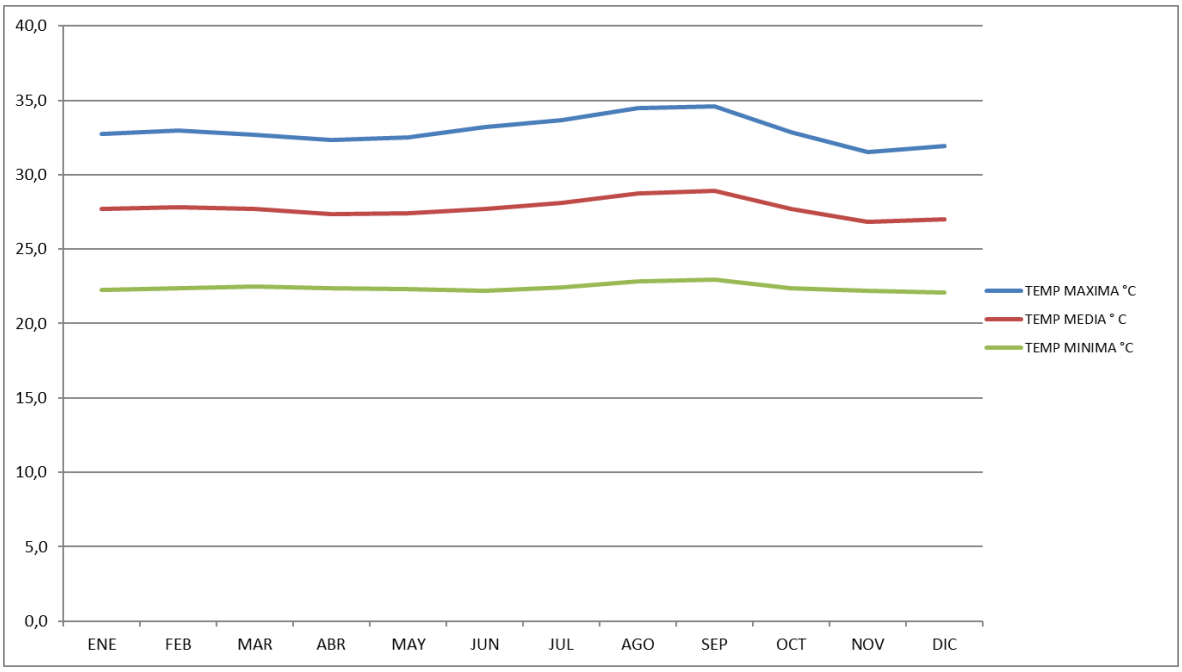


Figura 11. Valores mensuales de temperatura máxima, media y mínima en grados centígrados. Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas
Fuente: Adaptado a partir de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM

La gráfica anterior representa el comportamiento de la temperatura media, medias máximas y medias mínimas, en donde la curva de temperatura media indica que el clima es homogéneo durante todo el año, las temperaturas máximas se presentan en agosto y las mínimas en diciembre.

2.2.2 Humedad Relativa

Se obtuvieron datos mensuales encontrando que el lugar presenta una humedad relativa media anual de 66,4%. En noviembre y diciembre se presenta el mayor porcentaje de humedad relativa con un 75%. Considerando estos porcentajes de entre el 55 y 75% se puede afirmar que es un clima húmedo que tiende a lo seco.

Tabla 2:
Valores mensuales de humedad relativa.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
HUMEDAD %	69	68	70	72	70	64	58	55	57	67	75	73

Nota. Fuente: Adaptado a partir de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas

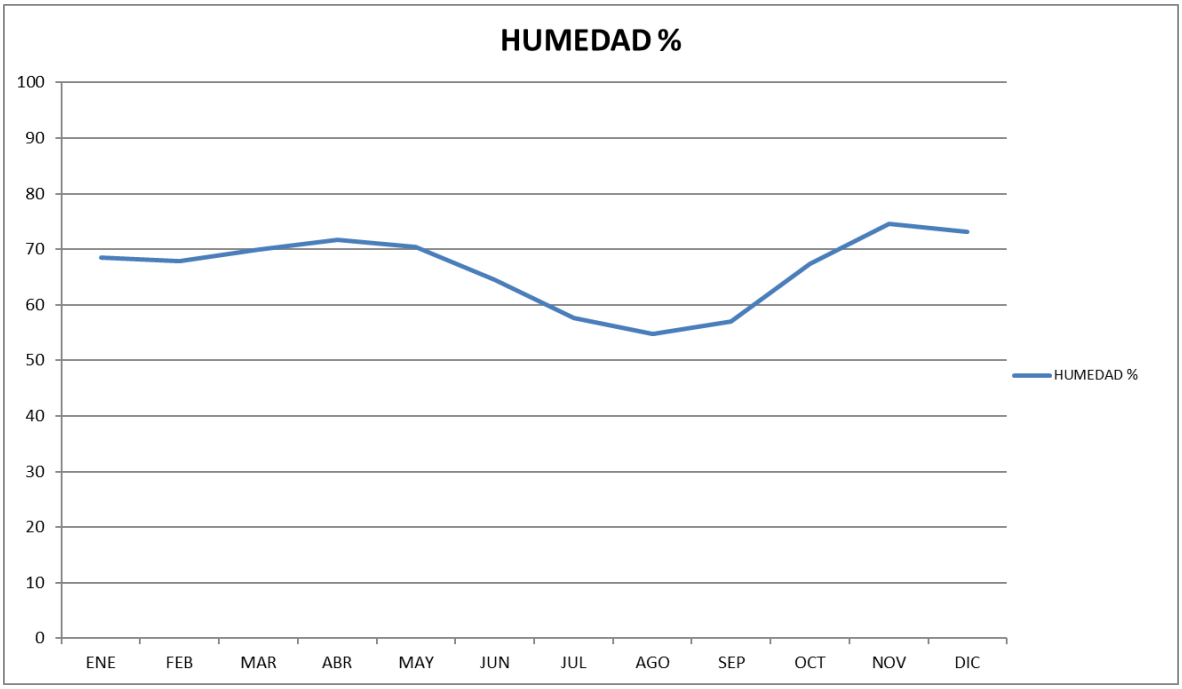


Figura 12. Valores mensuales de humedad relativa. Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas
Fuente: Adaptado a partir de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM

La gráfica representa la curva de humedad relativa que indica que el clima es homogéneo durante todo el año, con un periodo entre húmedo y seco en agosto, presentándose un mayor porcentaje en noviembre y diciembre.

2.2.3. Precipitación

Se obtuvieron datos mensuales encontrando que el lugar presenta una precipitación total anual de 1.346,1 mm. Se tienen dos periodos de lluvia en abril y octubre respectivamente siendo las temporadas típicas de lluvia colombianas. De otro lado, en enero y agosto se presentan los meses de menos lluvia y un total de 153 días de lluvia durante todo el año.

Tabla 3:
Valores de precipitación.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PRECIPITACION (MM)	106	130	151	135	89	37	33	23	65	203	216	158
NUM. DE DIAS CON LLUVIA	11	12	14	15	15	12	10	8	10	16	18	14
HUMEDAD %	69	68	70	72	70	64	58	55	57	67	75	73
PREP. MAX EN 24 HORAS	142.3/90	150.0/37	160.3/98	116.5/84	158.5/57	55.4/73	74.5/73	68.4/41	83.2/36	147.0/94	114.5/36	118.0/99

Nota. Fuente: Adaptado a partir de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas

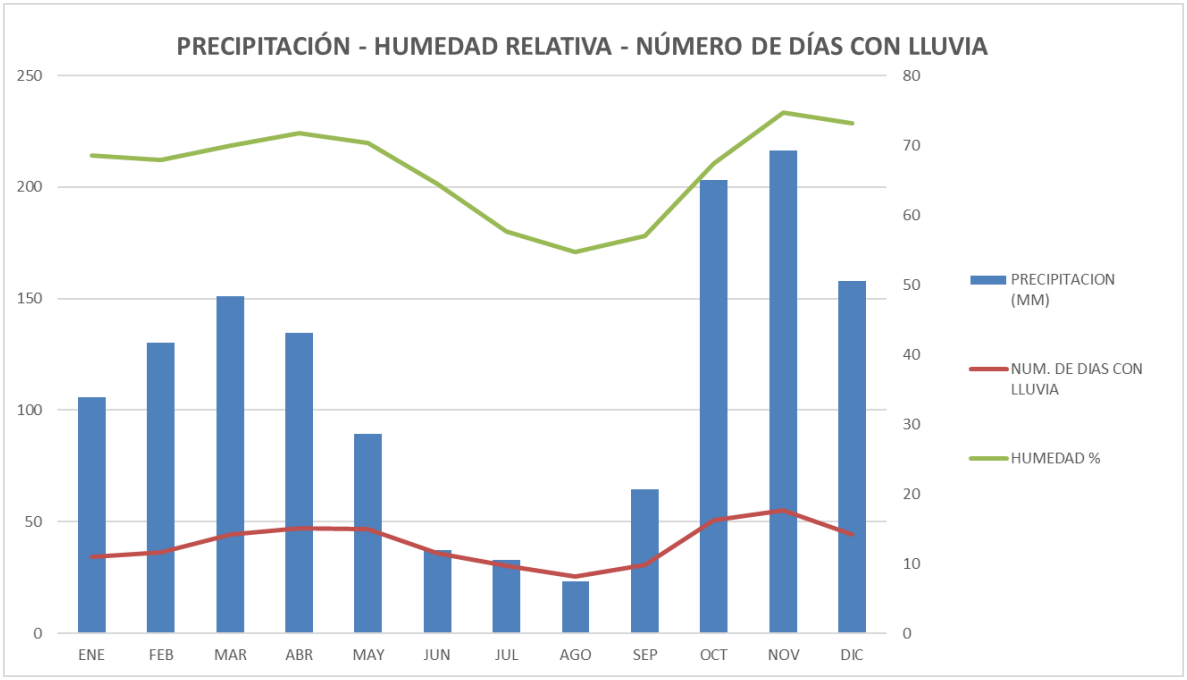


Figura 13. Valores mensuales de precipitación y número de días con lluvia. Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas
Fuente: Adaptado a partir de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM

La gráfica indica los dos periodos de lluvia anuales típicos, lo cual coincide con la curva de humedad relativa cuyos picos se encuentran en los mismos periodos.

2.2.4. Radiación solar

Se tomaron datos mensuales encontrando que para los meses de diciembre y enero se presenta el mayor valor de radiación directa; para el mes de marzo, el mayor valor de radiación global y radiación difusa, de acuerdo a las siguientes definiciones:

Radiación directa: la cantidad de energía solar que llega directamente del sol.
Radiación global: la cantidad de energía solar que incide sobre una superficie.
Radiación inclinada: la cantidad de energía solar que incide sobre una superficie con radiación inclinada.
Radiación difusa: la cantidad de energía solar cuando la radiación solar que alcanza la superficie de la atmósfera de la tierra se dispersa de su dirección original a causa de moléculas en la atmósfera.

Tabla 4:
Valores mensuales radiación solar directa, global, difusa, en watios-horas/M2/día.

	Return Cell	Longitude	Latitude														
Month				Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
Direct	276493	-75,286	2,902	2784	2227	2089	2375	1812	1760	1832	2093	2571	2487	2359	2773	2263
Global	276493	-75,286	2,902	4726	4840	4912	4827	4290	4133	4193	4611	4864	4808	4506	4610	4610
Latitude Tilt	276493	-75,286	2,902	4814	4894	4927	4803	4244	4077	4140	4575	4862	4850	4577	4704	4622
Diffuse	276493	-75,286	2,902	2767	3161	3274	3013	2946	2866	2866	3031	2906	2943	2826	2697	2941

Nota. Fuente: Adaptado a partir de datos del Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA), National Renewable Energy Laboratory (NREL), U.S. Departament of Energy

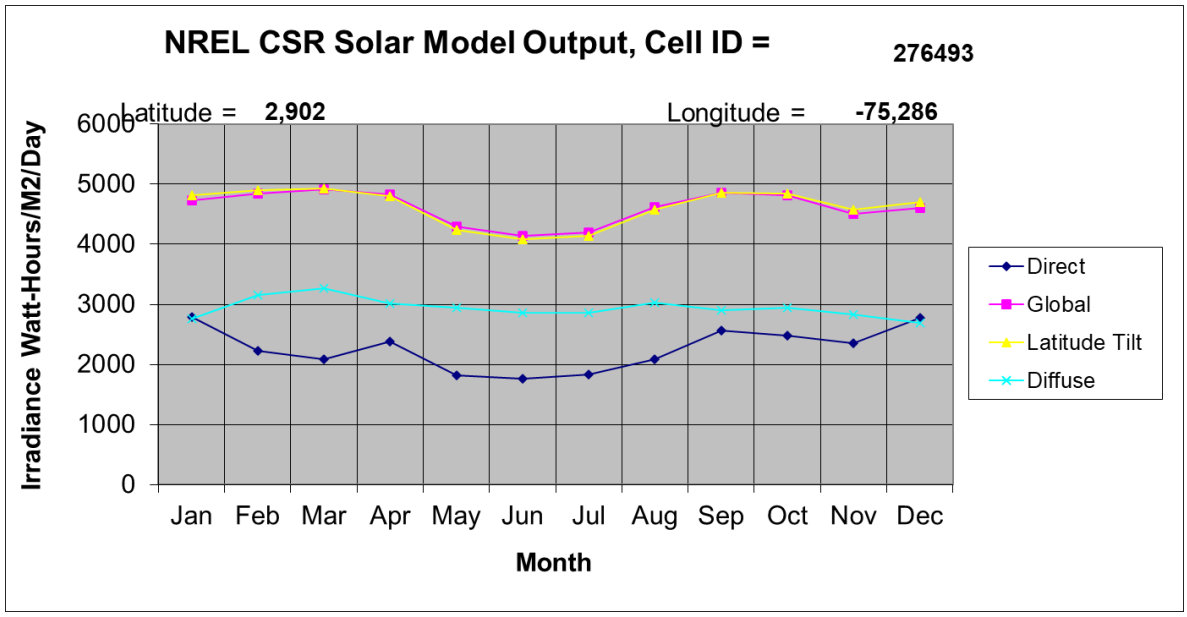


Figura 14. Valores mensuales radiación solar directa, global, difusa
Fuente: Adaptado a partir de datos del Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA), National Renewable Energy Laboratory (NREL), U.S. Departament of Energy

Con esta gráfica, la radiación solar directa expresada en watios es visiblemente mayor en diciembre y enero. Esta curva deberá ser analizada respecto a los criterios que se utilicen frente a estrategias protección solar de la edificación en el periodo del año descrito.

2.2.5. Vientos predominantes

Se obtuvo la rosa de vientos del IDEAM para la ciudad de Neiva, así como la de meteoblue.com la cual usa el modelo matemático "ERA5T" que es un modelo meteorológico satelital. Dado que geográficamente el municipio y el predio se encuentran ubicados en el Valle del río Magdalena, no existe barrera física (montañas), que interrupta el flujo del viento en la zona.

De acuerdo a esto y a la gráfica siguiente, el comportamiento del viento en Neiva es bimodal (dos direcciones), con las siguientes predominancias: por el Sur con un porcentaje del 25% anual y por el Suroeste con un 10% anual, con una velocidad de mayor frecuencia de 3,4 a 5,4 m/s.

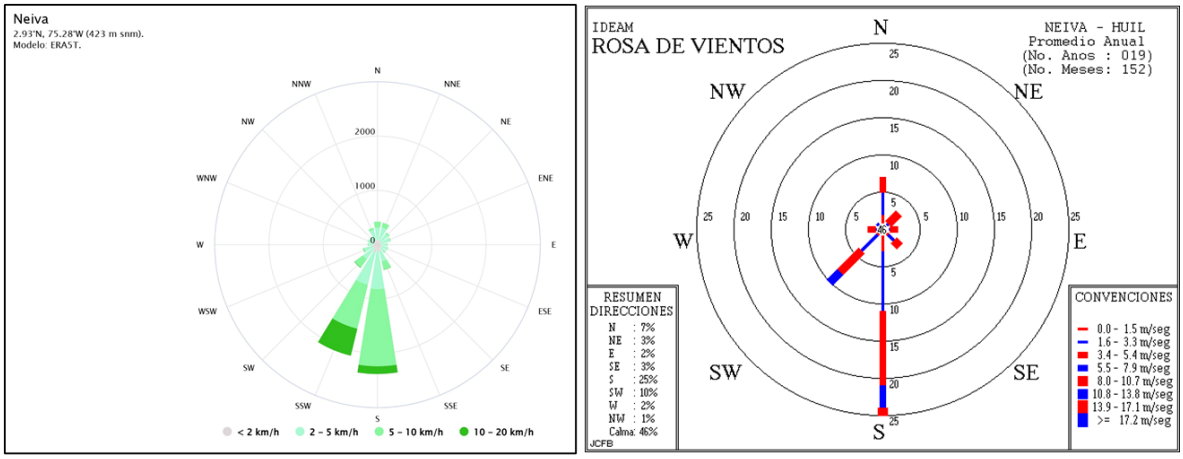


Figura 15. Rosa de Vientos Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas
Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM
https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/neiva_colombia_3673899

Para efectos de cálculo de velocidad a la altura en superficie, se realiza mediante el método de corrección por altura y rugosidad, tomando como base la velocidad media predominante de 3,4 m/s.

Nota: *es importante aclarar que los cálculos acá presentados, están basados en un ideal de velocidad del viento cuando está presente en el sitio, y se trata de una valoración teórica estacional, por cuanto el flujo del viento es dinámico; por tanto, los resultados obtenidos son aproximados a las condiciones reales.*

CORRECCIÓN DE VIENTO POR EFECTO DE RUGOSIDAD

$$V_{ref} = A_o \cdot V_{met}$$

V_{ref} = Velocidad de referencia
A_o = Constante de rugosidad
V_{met} = Velocidad meteorológica
Nota. Fuente: Fuentes Freixanet (2005). Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, México.

Datos input de parámetros de cálculo y resultados

A_o = 0,59 (Zona urbana de máximo 2 niveles)
V_{met} = 3,4 m/s
V_{ref} = 2,01 m/s

CORRECCIÓN DE VIENTO POR ALTURA

$$V_H = V_{met}\left(\frac{\delta_{met}}{H_{met}}\right)^{a\,met}\left(\frac{H}{\delta}\right)^{a}$$

V_H = Velocidad de del viento a la altura H (m/s)
V_{met} = Velocidad meteorológica (m/s)
δ_{met} = Capa de fricción en la estación (m) (~270)
H_{met} = Altura meteorológica (m) (~10)
a_{met} = Exponente de velocidad media en la estación (~0.14)
a = Exponente de velocidad en el sitio
H_{met} = Altura de cálculo (m)
δ = Capa de fricción en el sitio (m)

Nota. Fuente: Fuentes Freixanet (2005). Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, México.

Datos input de parámetros de cálculo y resultados

V_{met} = 3,4 m/s
δ_{met} = 300 (campo abierto con arbustos bajos o aeropuertos)
H_{met} = 10 m
a_{met} = 0,15 (campo abierto con arbustos bajos o aeropuertos)
a = 0,25 (Zona urbana de máximo 2 niveles)
H = 3 m
δ = 400 (Zona urbana de máximo 2 niveles)

V_H = 1,67 m/s

2.2.6. Brillo Solar

Se tomaron datos mensuales encontrando que entre diciembre y enero se presentan los mayores valores que superan las 189 horas al mes y en abril los menores.

Tabla 5:
Valores de brillo solar

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
BRILLO SOLAR (HRS-MES)	198,0	156,1	152,5	148,6	164,7	168,6	172,5	170,0	159,6	172,4	165,4	189,7

Nota. Fuente: Adaptado a partir de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas

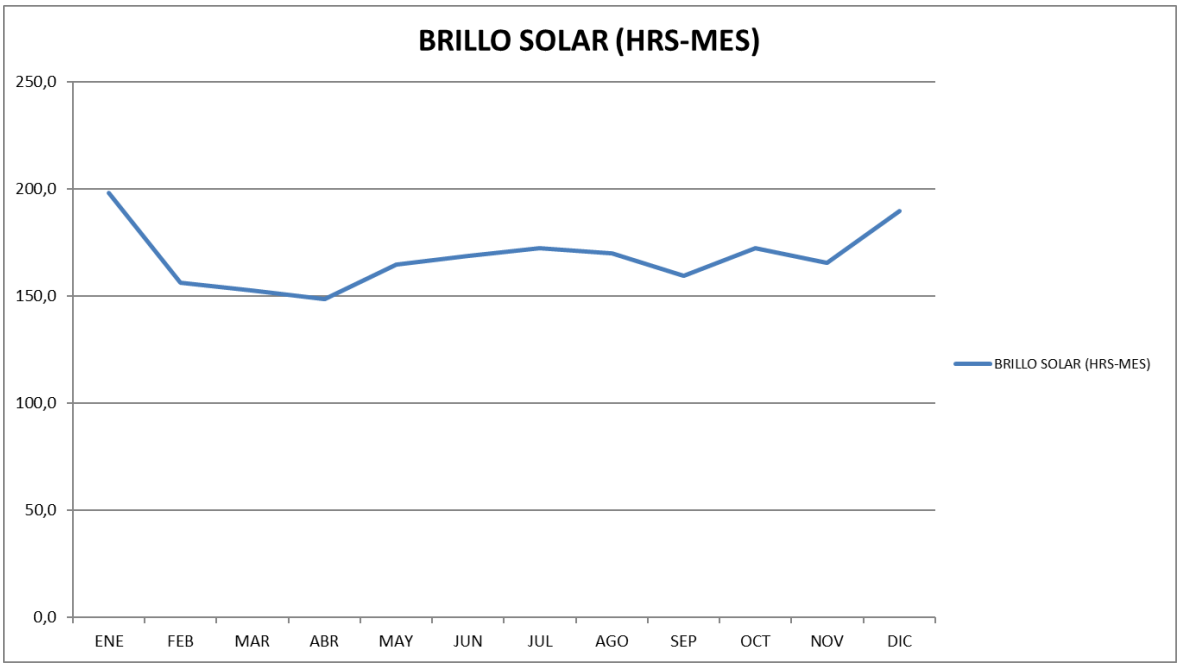


Figura 16. Valores mensuales de brillo solar. Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas
Fuente: Adaptado a partir de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM

CAPITULO 3.

DIAGNOSTICO BIOCLIMATICO

3.1 CALCULO MEDIAS HORARIAS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

Con los datos meteorológicos obtenidos de temperatura y humedad relativa, se efectuó el cálculo del promedio mensual de las temperaturas y humedades relativas horarias de acuerdo la hoja de cálculo de Microsoft Excel ® "Clima y bioclima" desarrollada por Gómez (2016), y de esta forma identificar su comportamiento durante las 24 horas del día mes a mes. A partir de esta información, podemos identificar los meses y horas críticas de diseño que se tomarán como el límite extremo de las condiciones climáticas del lugar, y sobre cuyos parámetros se desarrollará el diseño y cálculo bioclimático de la edificación a proyectar.

De acuerdo a la siguiente gráfica isotermal, se obtienen las siguientes conclusiones:

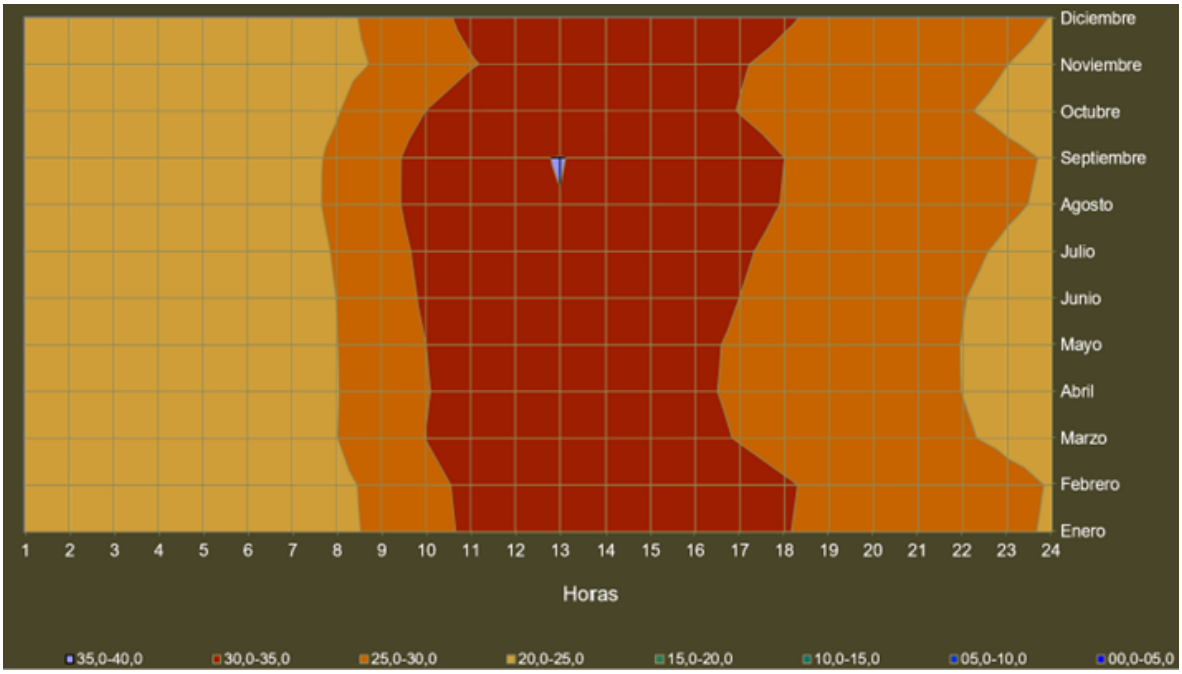


Figura 17. Isotermas comportamiento medias horarias de temperatura durante el año.
Fuente: Elaboración propia a partir de la hoja de cálculo de Microsoft Excel ® Clima y Bioclima desarrollada por Gómez (2016), Universidad de Colima, México, y datos meteorológicos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM

Temperatura Base: consistentemente alta, situándose en el rango de 20,0 °C a 25,0 °C (color amarillo/ocre). Esta base se alcanza exclusivamente en las horas de la madrugada y primeras horas de la mañana (entre la 1:00 y las 8:00 horas). No existe ningún momento

en el año donde la temperatura descienda por debajo de los 20,0 °C, lo que evidencia la ausencia total de estrés por frío.

Horas Críticas: El bloque horario de mayor intensidad térmica ocurre diariamente entre las 11:00 y las 18:00 horas. Durante este lapso de 7 horas, las temperaturas se elevan sostenidamente al rango de 30,0 °C a 35,0 °C (color rojo). Este es el periodo crítico, ya que representa el momento de mayor exposición al calor extremo, repitiéndose este patrón todos los días del año de forma ininterrumpida.

Pico Anual de Calor: Aunque el clima es altamente isotérmico (sin variaciones estacionales drásticas), el diagrama muestra que los periodos de mayor rigor térmico anual se presentan en los bimestres de enero-febrero y agosto-septiembre. En estos meses, la franja roja de calor crítico (30,0 - 35,0 °C) se ensancha levemente, lo que indica que las altas temperaturas comienzan antes de las 11:00 o se prolongan más allá de las 18:00 horas en comparación con el resto del año.

Tabla 6:
Cálculo de medias horarias de temperatura en °C.

HORA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	24,3	24,4	23,8	23,6	23,6	23,5	23,8	24,3	24,4	23,7	24,0	24,4
2	23,8	23,9	23,5	23,3	23,3	23,2	23,5	24,0	24,1	23,4	23,6	24,0
3	23,5	23,6	23,2	23,1	23,1	23,0	23,2	23,7	23,8	23,1	23,3	23,6
4	23,2	23,3	23,0	22,9	22,9	22,8	23,1	23,5	23,6	22,9	23,1	23,4
5	23,0	23,1	22,9	22,8	22,7	22,7	22,9	23,3	23,4	22,8	22,9	23,1
6	22,8	22,9	22,8	22,7	22,6	22,5	22,8	23,2	23,3	22,7	22,7	23,0
7	22,8	22,9	22,8	23,0	22,9	22,9	23,1	23,5	23,3	22,7	22,7	23,0
8	23,8	24,0	24,9	24,9	24,9	25,0	25,3	25,8	25,8	24,8	23,6	23,9
9	26,0	26,2	27,6	27,4	27,6	27,9	28,2	28,8	28,7	27,5	25,6	26,2
10	28,5	28,8	30,1	29,8	30,0	30,5	30,9	31,6	31,6	30,0	27,8	28,7
11	30,7	31,0	31,9	31,6	31,8	32,4	32,9	33,6	33,6	31,9	29,7	30,9
12	32,3	32,6	32,9	32,5	32,7	33,4	33,9	34,7	34,8	33,0	31,1	32,5
13	33,2	33,4	33,1	32,7	32,9	33,6	34,1	35,0	35,1	33,3	31,9	33,4
14	33,4	33,6	32,8	32,3	32,5	33,2	33,7	34,5	34,6	32,9	32,1	33,6
15	33,0	33,2	32,0	31,6	31,7	32,3	32,8	33,6	33,7	32,1	31,7	33,2
16	32,3	32,5	30,9	30,5	30,7	31,2	31,6	32,4	32,6	31,1	31,1	32,5
17	31,3	31,4	29,8	29,5	29,5	30,0	30,4	31,1	31,3	29,9	30,2	31,5
18	30,2	30,3	28,7	28,4	28,4	28,8	29,2	29,9	30,0	28,8	29,2	30,4
19	29,1	29,2	27,6	27,3	27,4	27,7	28,0	28,7	28,8	27,7	28,2	29,2
20	28,0	28,1	26,7	26,4	26,5	26,7	27,0	27,6	27,7	26,7	27,3	28,2
21	27,0	27,1	25,9	25,6	25,6	25,8	26,1	26,7	26,8	25,9	26,4	27,2
22	26,2	26,3	25,2	25,0	25,0	25,0	25,4	25,9	26,0	25,1	25,7	26,3
23	25,4	25,5	24,6	24,4	24,4	24,4	24,7	25,2	25,4	24,5	25,0	25,6
24	24,8	24,9	24,1	24,0	23,9	23,9	24,2	24,7	24,8	24,1	24,5	24,9
PROM	27,4	27,6	27,1	26,9	26,9	27,2	27,5	28,1	28,2	27,1	26,8	27,6
DELTA	10,4	10,5	10,3	10,0	10,3	11,1	11,3	11,8	11,7	10,6	9,2	10,4

Nota. Fuente: Elaboración propia a partir de la hoja de cálculo de Microsoft Excel ® Clima y Bioclima desarrollada por Gómez (2016), Universidad de Colima, México.

El momento más caluroso del año ocurre en septiembre a la 1:00 p.m., alcanzando una temperatura récord de 35,1 °C. En general, agosto y septiembre son los meses más agresivos térmicamente, con promedios diarios arriba de los 28 °C y oscilaciones altas. Desde las 10:00 a.m. hasta las 5:00 p.m. (17:00), la temperatura se mantiene sistemáticamente por encima de los 30 °C durante todos los meses del año. El pico de radiación y calor se concentra entre las 12:00 m. y las 3:00 p.m., donde los valores no bajan de los 30 °C. La temperatura mínima absoluta registrada de 22,5 °C a las 6:00 a.m. en junio.

La oscilación de la temperatura a lo largo de un mismo día es considerable, variando entre 9,2 °C (en noviembre, el mes más estable) y casi 12 °C en la temporada de agosto-septiembre. Este fuerte calentamiento diurno exige que cualquier diseño o actividad contemple un drástico aumento del calor en cuestión de apenas 6 a 7 horas (desde el amanecer hasta el mediodía).

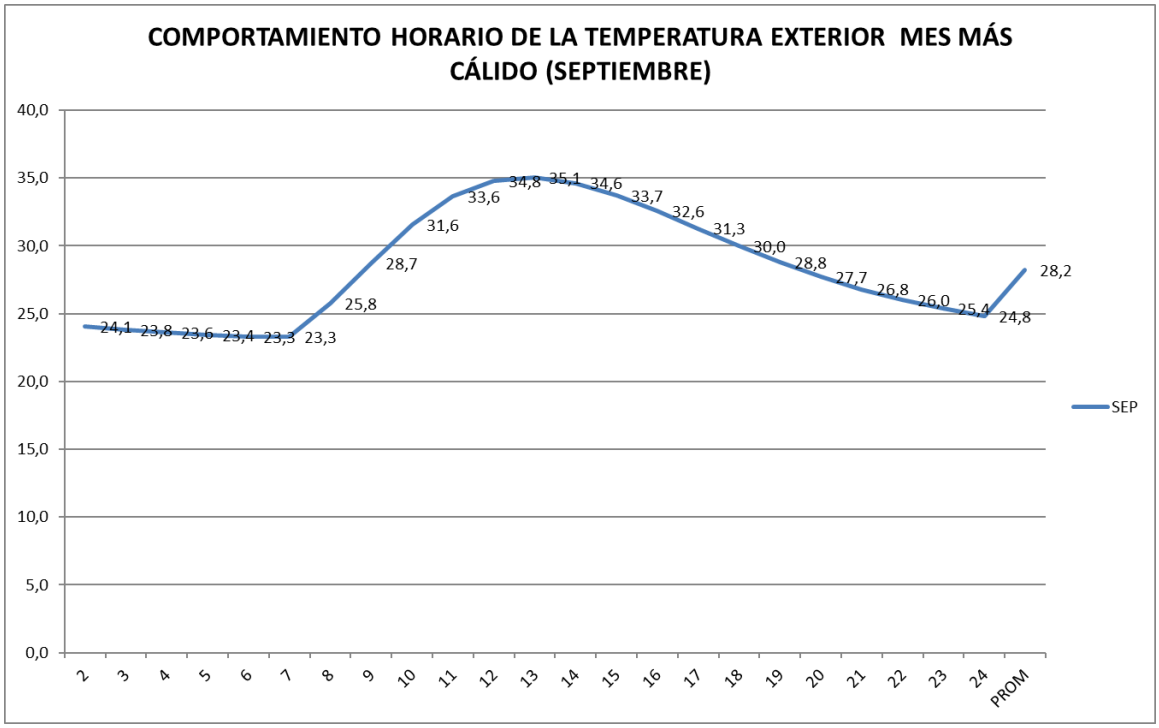


Figura 18. Comportamiento medias horarias de temperatura para el mes más cálido
Fuente: Elaboración propia a partir de la hoja de cálculo de Microsoft Excel ® Clima y Bioclima desarrollada por Gómez (2016), Universidad de Colima, México

El mismo ejercicio se realizó con los datos de las medias horarias de humedad relativa, que de acuerdo con la tabla y figuras siguientes se puede observar lo siguiente:

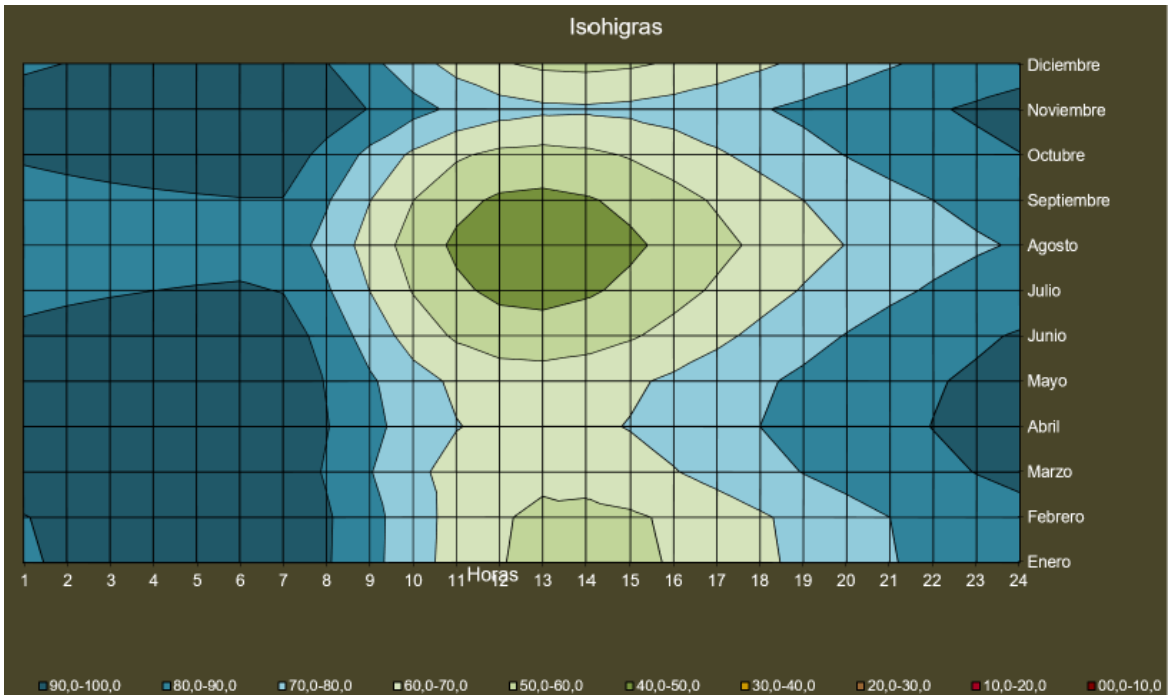


Figura 19. Isohigras comportamiento medias horarias de humedad relativa durante el año.
Fuente: Elaboración propia a partir de la hoja de cálculo de Microsoft Excel ® Clima y Bioclima desarrollada por Gómez (2016), Universidad de Colima, México, y datos meteorológicos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM para el Municipio.

Fuerte Ciclo Diario (Inverso a la Temperatura): La humedad relativa presenta una caída drástica durante las horas diurnas. Entre las 11:00 y las 16:00 horas, la humedad desciende a sus valores mínimos, coincidiendo exactamente con el pico de máximo calor. Al atardecer, la humedad vuelve a subir rápidamente.

Saturación Nocturna Constante: Durante la noche y la madrugada (aproximadamente entre las 20:00 y las 08:00 horas), la humedad relativa es consistentemente alta durante todo el año, ubicándose predominantemente en el rango del 80,0% al 100,0% (franjas azul oscuro y medio). Esto indica un alto potencial de condensación o rocío en las primeras horas de la mañana.

Tabla 7:
Cálculo de medias horarias de humedad relativa en %.

HORA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	89,3	89,8	93,0	94,2	93,7	92,2	87,0	82,4	85,8	91,3	94,0	88,7
2	90,8	91,3	93,9	95,1	94,6	93,4	88,2	83,6	87,0	92,4	95,0	90,1
3	92,1	92,5	94,7	95,8	95,4	94,3	89,2	84,6	88,0	93,2	95,9	91,3
4	93,0	93,5	95,3	96,3	95,9	95,1	90,0	85,3	88,7	93,9	96,6	92,3
5	93,8	94,2	95,7	96,7	96,3	95,6	90,5	85,9	89,3	94,4	97,1	93,0
6	94,4	94,9	96,1	97,0	96,6	96,0	91,0	86,3	89,7	94,8	97,5	93,6
7	94,5	94,9	96,1	96,2	95,7	94,8	89,7	85,2	89,7	94,8	97,6	93,7
8	90,9	91,2	89,1	90,5	89,5	86,6	81,2	77,0	81,0	87,3	95,1	90,3
9	83,0	83,2	80,5	82,8	81,3	75,8	69,9	65,9	70,2	77,6	89,6	82,7
10	74,0	74,3	72,4	75,6	73,8	65,8	59,4	55,7	60,1	68,3	83,4	74,0
11	66,2	66,5	66,4	70,4	68,3	58,5	51,8	48,2	52,6	61,4	77,9	66,4
12	60,5	61,0	63,1	67,6	65,3	54,7	47,8	44,1	48,6	57,6	74,0	60,9
13	57,4	58,0	62,3	67,0	64,7	53,9	47,0	43,3	47,6	56,6	71,9	58,0
14	56,8	57,4	63,6	68,1	66,0	55,6	48,7	44,9	49,1	58,0	71,4	57,3
15	58,0	58,7	66,1	70,5	68,5	58,9	52,1	48,3	52,3	60,8	72,3	58,5
16	60,7	61,4	69,5	73,5	71,7	63,2	56,6	52,6	56,5	64,6	74,2	61,1
17	64,2	64,9	73,2	76,8	75,2	67,8	61,4	57,3	61,1	68,8	76,6	64,5
18	68,2	68,8	76,8	80,0	78,7	72,3	66,2	62,0	65,7	72,9	79,3	68,3
19	72,1	72,8	80,3	83,1	81,9	76,6	70,6	66,3	70,0	76,8	82,1	72,1
20	75,9	76,5	83,4	85,8	84,8	80,4	74,6	70,2	73,9	80,3	84,7	75,8
21	79,4	80,0	86,0	88,2	87,3	83,7	78,1	73,6	77,2	83,4	87,1	79,1
22	82,5	83,1	88,3	90,2	89,4	86,5	81,0	76,5	80,0	86,0	89,3	82,1
23	85,2	85,7	90,2	91,8	91,2	88,8	83,4	78,9	82,4	88,1	91,1	84,7
24	87,4	87,9	91,7	93,2	92,6	90,7	85,4	80,8	84,3	89,9	92,7	86,9
PROM	77,9	78,4	82,0	84,4	83,3	78,4	72,5	68,3	72,1	78,9	86,1	77,7

Nota. Fuente: Elaboración propia a partir de la hoja de cálculo de Microsoft Excel ® Clima y Bioclima desarrollada por Gómez (2016), Universidad de Colima, México.

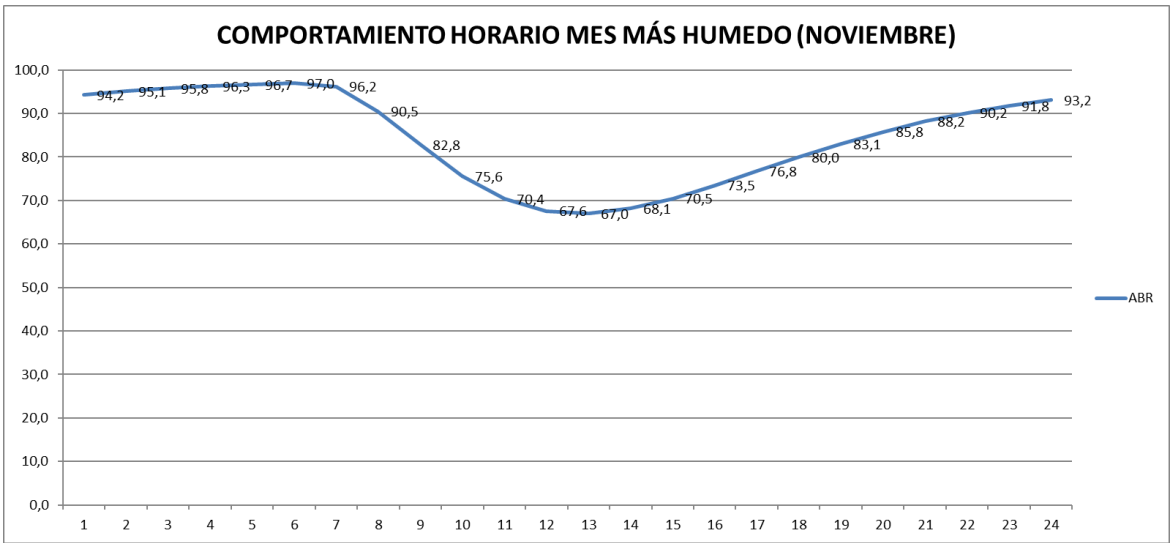


Figura 20. Comportamiento medias horarias de humedad relativa para el mes más húmedo
Fuente: Elaboración propia a partir de la hoja de cálculo de Microsoft Excel ® Clima y Bioclima desarrollada por Gómez (2016), Universidad de Colima, México.

Clara Variación Estacional: A diferencia de la temperatura (que se mantiene muy estable todo el año), la humedad sí revela temporadas climáticas distintas:

Temporada Seca (Junio a Septiembre): En el centro del gráfico se observa un gran núcleo verde oliva que representa los niveles de humedad más bajos del año (40,0% a 50,0%) durante el mediodía y la tarde. Agosto y septiembre son los meses con el ambiente diurno más seco.

Temporadas de Mayor Humedad: En contraste, los meses de abril-mayo y octubre-noviembre muestran niveles de humedad diurna que rara vez bajan del 60,0% al 70,0% (tonos azul claro y verde pálido), lo que coincide con los periodos típicos de mayor pluviosidad (temporada de lluvias) en esta región.

Condición Climática Crítica: La lectura conjunta de este diagrama de humedad con los datos de temperatura previos confirma que los meses de agosto y septiembre presentan el escenario más extremo. Durante las tardes de este periodo, la ciudad experimenta su pico anual de calor (más de 35,0 °C) simultáneamente con su pico anual de sequedad (humedad relativa del 40-50%), generando condiciones prolongadas de calor seco e intenso.

Análisis sensación térmica

Pico de calor absoluto (septiembre - 13:00 hrs): Con una temperatura máxima de 35,1 °C y una humedad relativa que desciende al 47,6%, la sensación térmica asciende a aproximadamente **39 °C**.

Alta humedad diurna (noviembre - 13:00 hrs): Aunque la temperatura real es significativamente menor, marcando 31,9 °C, la elevada humedad relativa del 71,9% dificulta la evaporación del sudor, elevando la sensación térmica a aproximadamente **40 °C**.

Madrugada de máxima saturación (noviembre - 6:00 hrs): Con una temperatura fresca de 22,7 °C y una humedad casi a punto de saturación del 97,5%, la sensación térmica se mantiene equivalente a la temperatura del aire (**23 °C**), dado que el índice de calor solo tiene efectos amplificadores significativos cuando el aire supera los 27 °C.

3.2. DIAGRAMA PSICROMÉTRICO

Teniendo como base la información del cálculo de medias horarias de temperatura y humedad relativa, se elabora el diagrama psicrométrico que se indica en la figura siguiente, el cual permite establecer las estrategias bioclimáticas generales de acuerdo al clima del sitio con el fin de aproximarse a las condiciones de confort requerido.

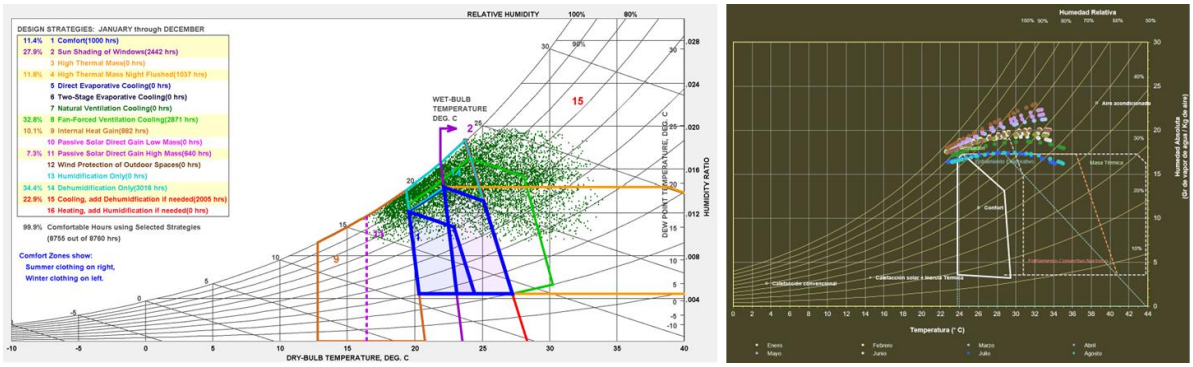


Figura 21. Diagrama psicrométrico.
Fuente: Elaboración propia a partir de la hoja de cálculo de Microsoft Excel ® Clima y Bioclima desarrollada por Gómez (2016), Universidad de Colima, México, basada en Givoni con los datos meteorológicos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM

Como conclusión del mismo, se observa que, durante la mayor parte del año, las condiciones de temperatura y humedad relativa exteriores se encuentran fuera del polígono de confort, salvo las horas de la noche y madrugada que si se encuentran en confort.

Sólo un **11.4%** del año se tienen condiciones de confort, sin embargo, aplicando las siguientes estrategias, es posible conseguir mejorar las condiciones, así:

Ventilación forzada con ventiladores en un 32.8% del año: el movimiento del aire es crucial para mejorar la evaporación del sudor y ampliar la sensación de confort sin recurrir inmediatamente al aire acondicionado.

Protección solar de ventanas en un 27.9% del año: evitar la radiación solar directa hacia el interior del edificio es fundamental para prevenir el sobrecalentamiento de los espacios.

Necesidad de Refrigeración Activa: A pesar del uso de estrategias pasivas, el gráfico indica que durante un **22.9% del año** (2005 horas) las temperaturas y la humedad son demasiado extremas. En estas horas, el diseño pasivo es insuficiente y se requiere refrigeración mecánica (aire acondicionado) combinada con deshumidificación.

Inercia Térmica: El uso de alta masa térmica con ventilación nocturna en un **11.8% del año** es útil para absorber el calor durante el día y disiparlo durante la noche abriendo el

edificio, aprovechando la caída de temperaturas que se observaba en los análisis horarios anteriores.

Con este diagrama se concluye que, las estrategias bioclimáticas principales a implementar serán las siguientes:

1. Ventilación natural apoyada de ventiladores para deshumidificar en horas donde las condiciones de adaptación del usuario lo permitan.
2. Protección solar de ventanas para evitar la radiación solar directa al interior.
3. Protección solar mediante inercia térmica de la envolvente que absorba calor y lo disipe.
4. Apoyo de sistema aire acondicionado para refrigerar, según la evolución de la temperatura diaria en horas donde las condiciones de adaptación del usuario lo permitan.

3.3. CÁLCULO TEMPERATURA NEUTRAL Y RANGO DE CONFORT

Con el fin determinar el rango de confort, se tomó como referencia lo propuesto por Auliciems (1981), basados en el enfoque adaptativo de confort para establecer una "*temperatura neutral"* a partir de la temperatura media del sitio. Para este caso se utiliza el modelo adaptativo teniendo en cuenta que *"los individuos no son receptores pasivos de estímulos sensoriales, sino que son participantes activos en el establecimiento del equilibrio dinámico que existe entre el cuerpo humano y el ambiente que lo rodea"*, es decir que, cuando ocurre un cambio que produce condiciones de incomodidad, las personas reaccionan de manera instintiva y tratan de restaurar las condiciones de comodidad. (Humpreys y Nicol, 1988)
Obtención de la temperatura neutral de acuerdo al enfoque adaptativo propuesto por Auliciems (1981), así:

$$Tn = 17.6 + 0.31 \times Tm$$

Donde:

Tn = Temperatura neutral
Tm = Temperatura media
Tn = 26.2°C

Respecto al rango de confort, se calcula teniendo en cuenta la teoría de Auliciems y Szokolay(1981) que partiendo igualmente del enfoque adaptativo, establecen un rango de confort de +/- 2°C para el periodo anual, tomando como base la temperatura neutral, así:

Rango de confort adaptativo: 24.2°C a 28.2°C

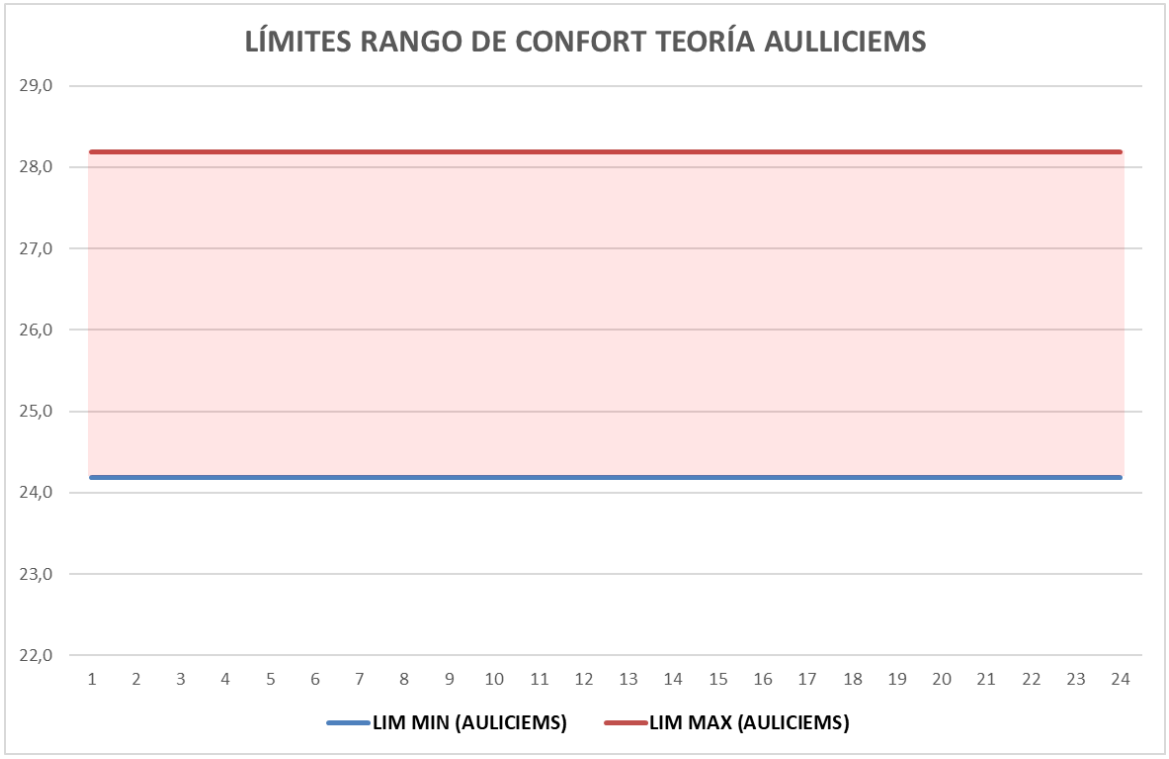


Figura 22. Límites rango de confort teoría Aulliciems enfoque adaptativo
Fuente: Elaboración propia

De otro lado, en aplicación de la norma ASHRAE 55, siguiendo el enfoque o modelo de confort adaptativo ya mencionado, se toma como referencia el numeral 5.4 *"DETERMINING ACCEPTABLE THERMAL CONDITIONS IN OCCUPANT-CONTROLLED NATURALLY CONDITIONED SPACES"*, el cual determina las condiciones en los espacios naturalmente ventilados y controlados por los ocupantes, en donde aplican los siguientes criterios:

- No hay un sistema de enfriamiento mecánico instalado. No hay ningún sistema de calefacción en funcionamiento.
- Tasas metabólicas que oscilan entre 1,0 y 1,3 met.
- Los ocupantes son libres de adaptar su ropa a las condiciones térmicas interiores y/o exteriores dentro de un rango de al menos 0,5-1,0 clo.

Siendo así, se obtiene teóricamente, que el 80% de los ocupantes se encuentran en confort en un rango de temperatura de **22.9°C a 29.9°C**, y el 90% de los ocupantes se encuentran en confort en un rango de temperatura de **23.9°C a 28.9°C**, bajo los parámetros de clima del sitio de estudio, tal y como se muestra en la siguiente figura:

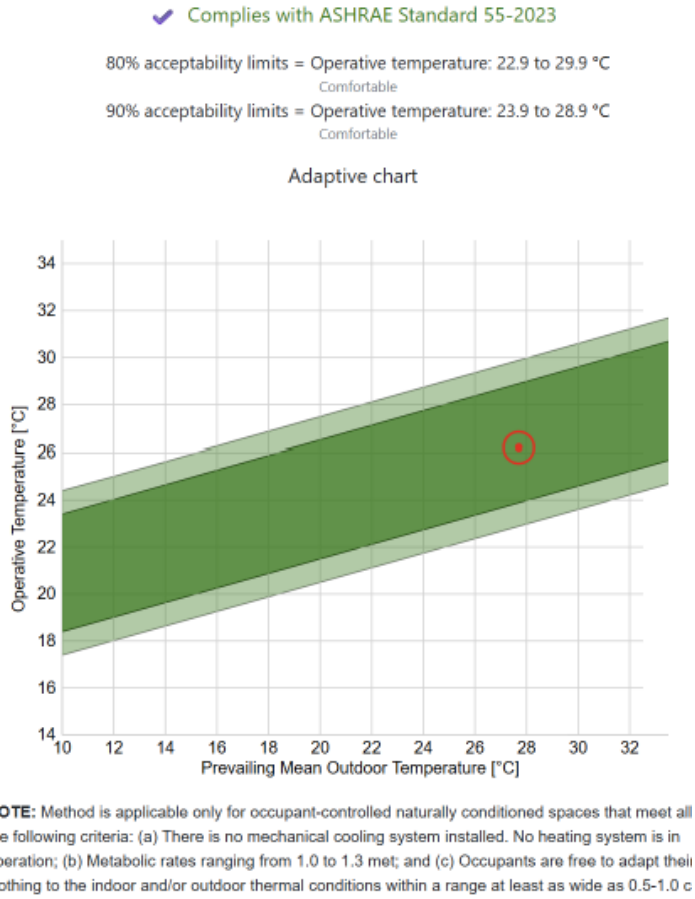


Figura 23. Gráfico adaptativo de cumplimiento del rango de confort bajo la norma ASHRAE 55.
Fuente: Elaboración a partir de la herramienta de confort térmico disponible en el Instituto de Investigación Center for the Built Environment CBE de la Universidad de California

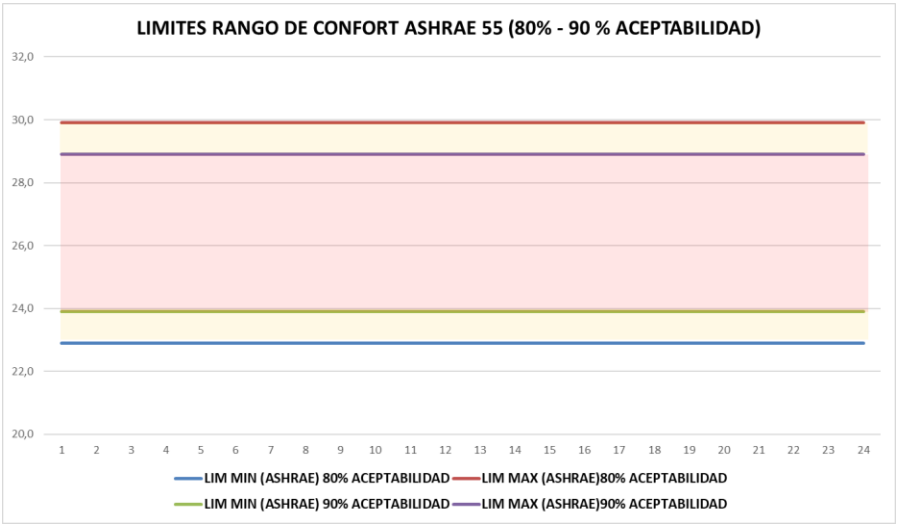


Figura 24. Límites rango de confort norma ASHRAE 55 (80% - 90% aceptabilidad)
Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta de confort térmico disponible en el Instituto de Investigación Center for the Built Environment CBE de la Universidad de California

3.4. RANGO DE CONFORT EN COMPARACIÓN CON LA TEMPERATURA EXTERIOR MES MÁS CÁLIDO

Se determina el rango de confort bajo el modelo científico de Auliciems y Szokolay (1981), el cual estima el cálculo de +/- 2,0°C para el periodo anual de la temperatura neutral. A continuación, se realiza un comparativo entre la evolución de la temperatura en el mes más cálido y el rango de confort anual, con el fin de identificar las horas del día en que el clima del sitio se encontraría en confort, y así seguir identificando posibles estrategias de climatización respecto a la programación de uso del futuro proyecto.

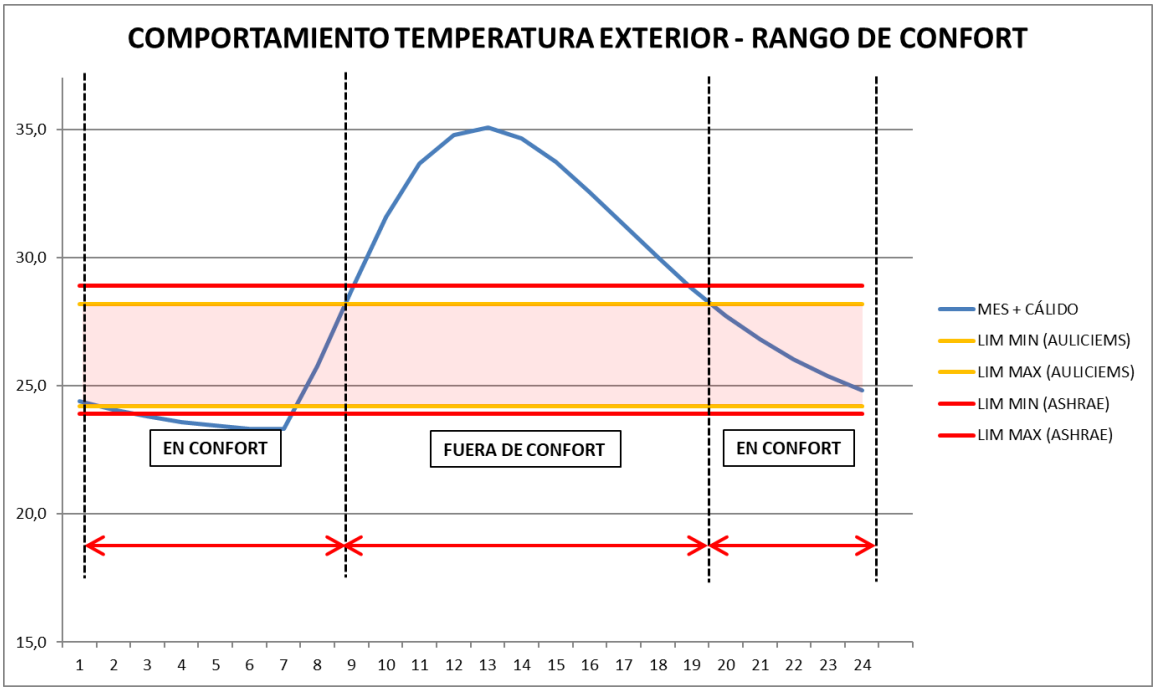


Figura 25. Comportamiento del rango de confort enfoque adaptativo Aulliciems y temperatura exterior
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura anterior, y teniendo en cuenta el clima cálido húmedo del sitio, se analiza las horas del día en las cuales la curva de temperatura (azul) se encuentra fuera del rango de confort establecido, con el siguiente resultado: desde las 19:00 hasta las 9:00 horas (noche y madrugada) la curva de temperatura exterior se encuentra dentro del rango de confort en condiciones aceptables de acuerdo al enfoque adaptativo del estudio, y desde las 9:00 hasta las 19:00 horas, la curva de temperatura exterior se encuentra fuera del rango de confort, obteniéndose un 56,0% del tiempo en confort, siendo necesario aplicar estrategias bioclimáticas para obtenerlo.

3.5 TRAYECTORIA SOLAR

Se realizó el diagrama estereográfico sobre el predio, con el fin de analizar aspectos de orientación solar que puedan ser beneficiosos o desfavorables para el nuevo proyecto a implantar, para lo cual se analizaron las afectaciones posibles, encontrando lo siguiente:

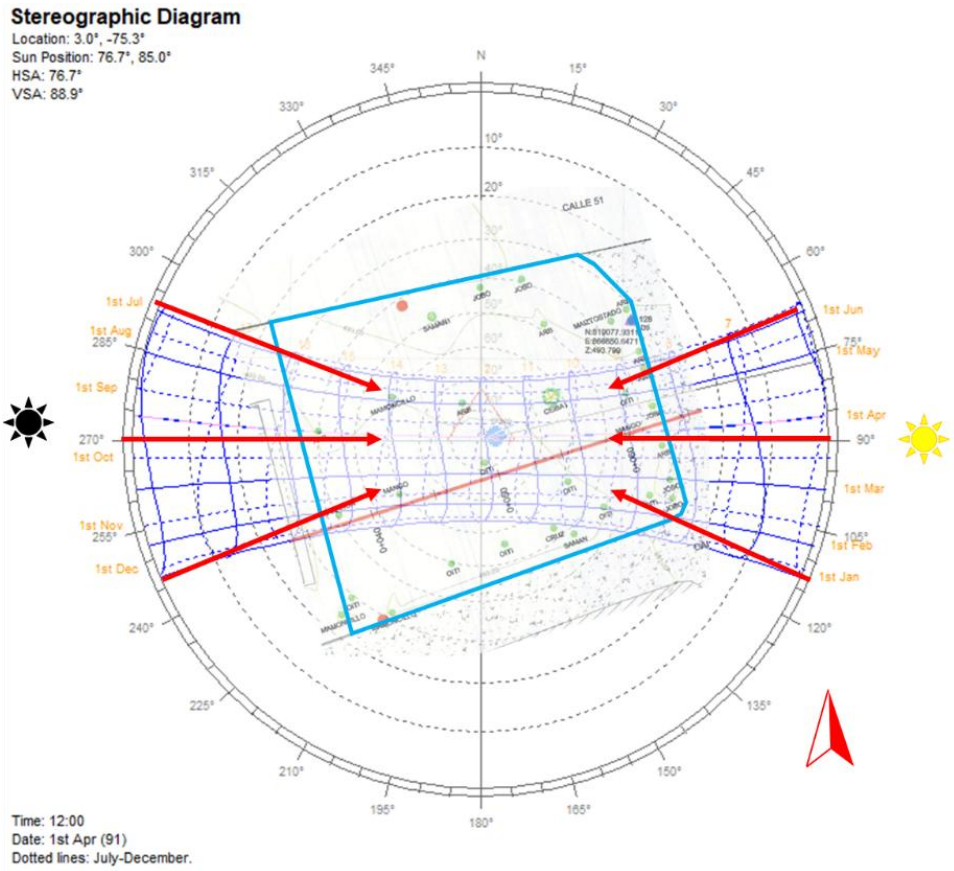


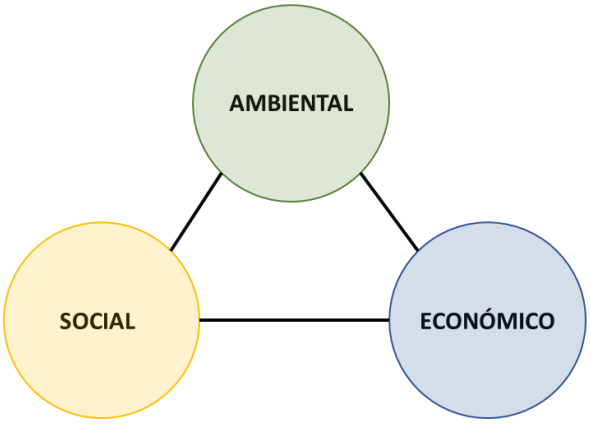
Figura 26. Diagrama estereográfico de trayectoria solar sobre el predio.
Fuente: Elaboración propia a partir de gráficos de Autodesk Ecotect Analysis (Versión 2011) [Software de computo]. Bogotá, Colombia: Autodesk, Inc.

El predio por su forma y orientación se encuentra afectado por los costado oriente y occidente, y teniendo en cuenta que se encuentra rotado -25° de azimuth norte, tiene afectaciones mayores en el solsticio del 21 de junio todas las mañanas y en el solsticio del 21 de diciembre todas las tardes, situación que deberá mitigarse con el fin de bloquear ganancias térmicas solares excesivas.

3.6 ESTRATEGIAS BIOCLIMATICAS RECOMENDADAS

Tomando como base el análisis efectuado en el diagnóstico realizado y obtener las mejores condiciones de confort y bienestar, se determinan las estrategias bioclimáticas que deberán implementarse con el fin de lograr un proyecto funcional y que responda a las condiciones climáticas del lugar.

OBJETIVOS DEL DISEÑO BIOCLIMÁTICO



AMBIENTAL

BIOCLIMÁTICA
Confort térmico por medios pasivos o naturales
Eficiencia energética - bajar el consumo de energía eléctrica – menos CO_2 a la atmósfera – menos efecto invernadero – menos cambio climático
BENEFICIARIO: MEDIO AMBIENTE

SOCIAL

BIOCLIMÁTICA
Confort térmico por medios pasivos o naturales
Confort térmico de los usuarios directos

BENEFICIARIO:
CLIENTE – USUARIO DEL PROYECTO
"Está comprobado que un buen ambiente interior, sano, aumenta la productividad del trabajador"

ECONÓMICO

BIOCLIMÁTICA
Confort térmico por medios pasivos o naturales
Eficiencia energética – ahorro en el consumo eléctrico
Ahorro en costos de construcción, una envolvente bien diseñada

BENEFICIARIO:
CLIENTE: Menos recursos de mantenimiento y operación
CONSTRUCTOR: Menos recursos de construcción

Las estrategias principales diagnosticadas mediante el diagrama psicrométrico desarrollado en el presente estudio son:

- Protección solar
- Ventilación natural
- Aislamiento térmico
- Inercia térmica

Partiendo de estas estrategias principales, y los datos climatológicos del lugar, se aplica la teoría de MAHONEY, con el procedimiento basado en los autores Szokolay, S.V., y Docherty, M (1999), con el fin de puntualizar a nivel de diseño arquitectónico las implementaciones necesarias, para la obtención de las mejores condiciones térmicas de las edificaciones, así:



Figura 27. Cuestionario de Mahoney con el procedimiento basado en los autores Szokolay, S.V., y Docherty, M (1999) Climate Analysis. PLEA – University of Queensland, Australia
Fuente: Elaboración propia a partir de la hoja de cálculo de Microsoft Excel ® Clima y Bioclima desarrollada por Gómez (2016), Universidad de Colima, México, y datos meteorológicos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM para el Municipio.

Estas estrategias o implementaciones se desarrollarán conforme a cada nivel del proyecto, desde la implantación, la forma de la edificación, la zonificación de espacios y la envolvente arquitectónica, en donde se deberá generar las siguientes acciones puntuales, así:

3.6.1. Nivel de implantación

3.6.1.1. Orientación ideal por trayectoria solar y vientos predominantes

Teniendo en cuenta el análisis de trayectoria solar, y la recomendación generada por software respecto a la orientación ideal, **se debe disponer la(s) edificación(es) o los espacios habitados, a lo largo del del eje oriente - occidente en sentido longitudinal**, de tal forma que las fachadas largas queden dispuestas hacia el norte y sur, y las fachadas cortas hacia oriente – occidente, evitando así, que las fachadas largas, que tiene mayor área aferente se conviertan en acumuladores de calor, por la gran cantidad de intercambio energético que presentaría debido a los altos niveles de radiación solar combinados con las altas temperaturas en el sitio.

Para el caso de la disposición de la implantación por vientos predominantes, dicha orientación, resulta igualmente beneficiosa ya que, por tener una dirección predominante del **nor-oriente y sur-occidente**, hace que las fachadas largas, por tener mayor área aferente, reciban más cantidad de viento para efectos de refrescamiento y ventilación en presión positiva.

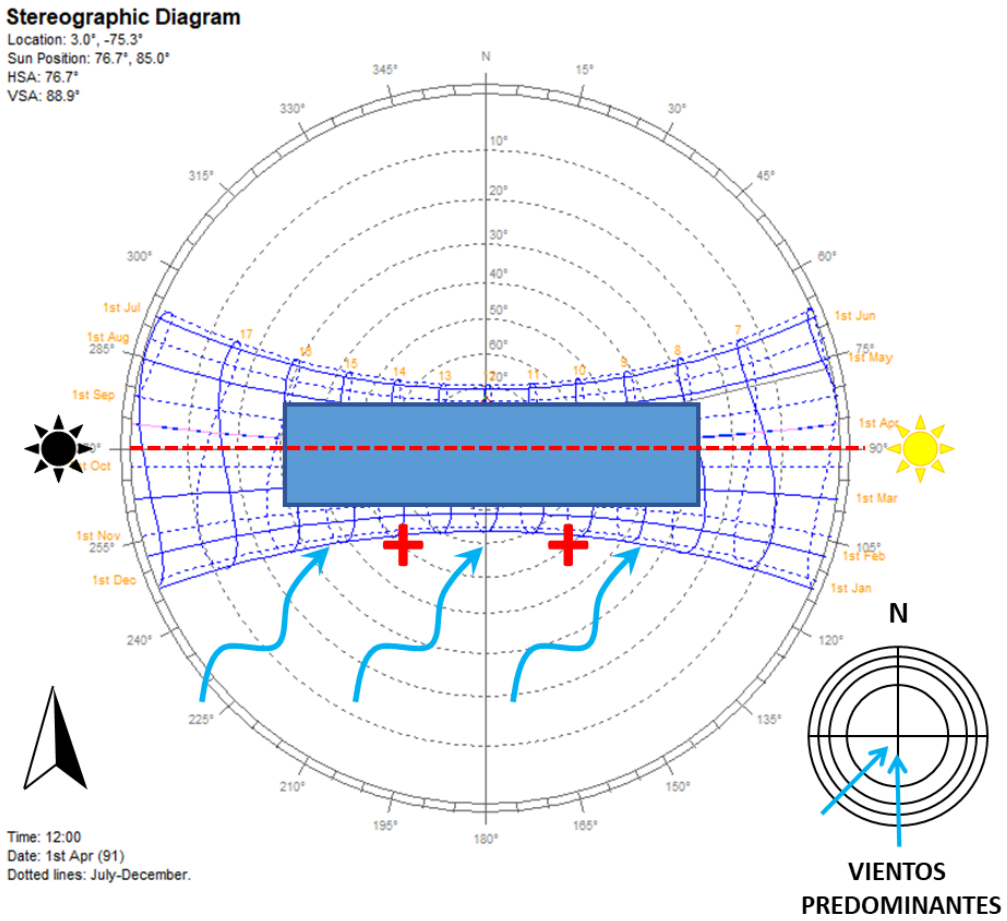


Figura 28. Diagrama de recomendación de implantación edificación
Fuente: Elaboración propia a partir de gráficos de Autodesk Ecotect Analysis (Versión 2011) [Software de computo]. Bogotá, Colombia: Autodesk, Inc.

3.6.2. Forma general de la edificación

La edificación o espacio habitado propuesto deberá ser principalmente de forma alargada en el sentido oriente occidente, con las fachadas largas dispuestas a norte y sur, que contenga características de porosidad para el fluido del viento, con el uso de la estrategia de presión positiva y negativa, para promover técnicas de ventilación cruzada con una adecuada despresurización.

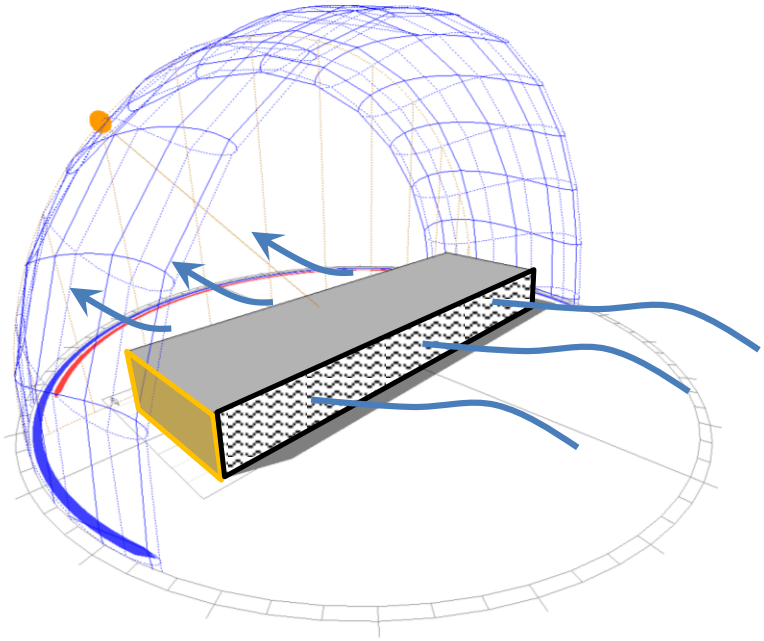


Figura 29. Diagrama de recomendación forma alargada y porosa de la edificación
Fuente: Elaboración propia a partir de gráficos de Autodesk Ecotect Analysis (Versión 2011) [Software de computo]. Bogotá, Colombia: Autodesk, Inc.

3.6.3. Protección solar de la envolvente arquitectónica

Con el fin de evitar la excesiva radiación solar transferida al interior, es necesario proteger la envolvente arquitectónica (muros y cubierta) mediante sistemas de aislamiento térmico o bloqueo de radiación solar, siendo obligatorio su implementación en la cubierta y las fachadas ubicadas a oriente y occidente en sus diferentes opciones: muros con cámara de aire, muros y cubiertas con aislamiento térmico, aleros, entre otros.

No se permite la ubicación de ningún tipo ventana en las fachadas dispuestas a oriente y occidente, debido al alto nivel de radiación solar durante todo el año, anotando como única posibilidad la implementación de dispositivos de control solar como aleros o corta soles exteriores, sin embargo, siendo de alto grado de complejidad, debido a que el ángulo de altura y azimut solar cubren estas fachadas durante todo el año, volviéndose ineficiente en primera instancia, por afectar la iluminación natural, y seguido por el alto costo que conlleva este tipo de dispositivo al tener que cubrir con mucha densidad de cantidad de material.

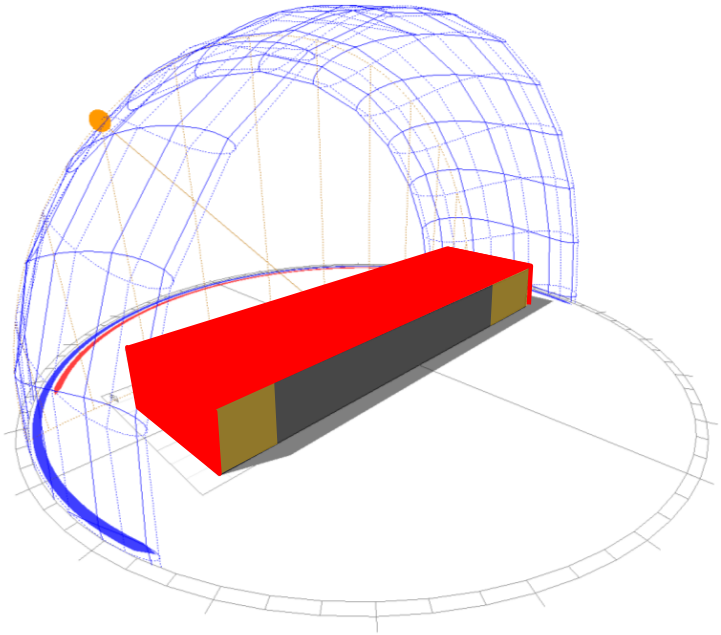


Figura 30. Diagrama de aislamiento térmico
Fuente: Elaboración propia a partir de gráficos de Autodesk Ecotect Analysis (Versión 2011) [Software de computo]. Bogotá, Colombia: Autodesk, Inc.

Para la cubierta se recomienda que esta sea inclinada, de tal forma que, a las horas del mediodía, cuando la temperatura exterior y la radiación solar incidente están en los niveles más altos, no se transmita la mayor cantidad de calor hacia el interior, por encontrarse perpendicular a la radiación. En el caso de proponer cubiertas planas, se deberá incluir aislamiento térmico suficiente que equipare las ganancias térmicas a la cubierta inclinada.

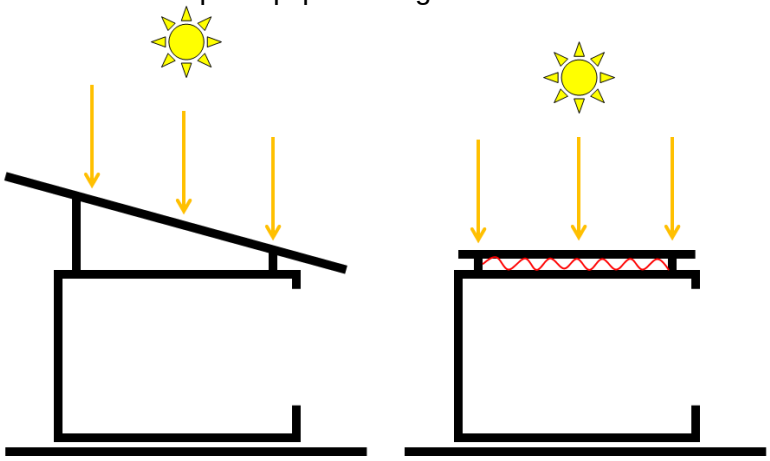


Figura 31. Diagrama de recomendación forma de cubierta
Fuente: Elaboración propia

Respecto a las ventanas dispuestas en fachadas norte y sur, se requerirá de protección solar en momentos de máximas declinaciones solares en ambos costados toda vez que el predio se encuentra cercano al ecuador (Latitud 2,95 N) con el fin de contra restar la radiación solar incidente, para lo cual podrá emplearse variedad de dispositivos como aleros, corta soles o parte soles, calculándose el ángulo de protección solar respectivo.

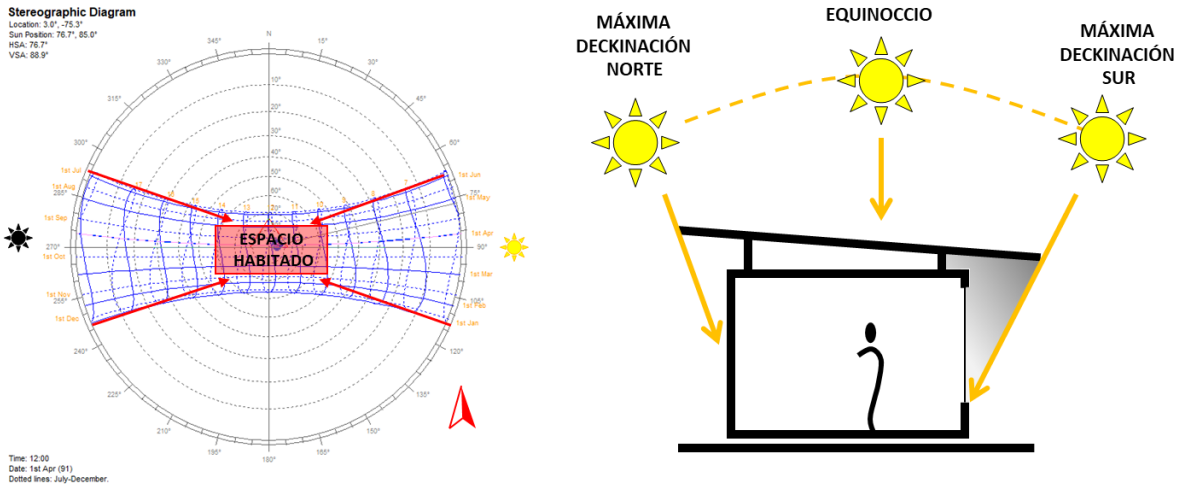


Figura 32. Diagrama de trayectoria solar costado sur, corte ejemplo
Fuente: Elaboración propia a partir de gráficos de Autodesk Ecotect Analysis (Versión 2011) [Software de computo]. Bogotá, Colombia: Autodesk, Inc.

3.6.4. Zonificación bioclimática interna

Como estrategia de zonificación espacial interna, se recomienda ubicar espacios de transición térmica en los extremos oriente y occidente de la edificación, consistentes en áreas de baja ocupación tales como baños, garajes, bodegas, archivos, escaleras de emergencia etc., los cuales sirven para ralentizar la transmitancia térmica a los espacios internos que si requieren de confort.

Para mayor entendimiento, en el gráfico siguiente se describe la ubicación de estos espacios de transición térmica en color amarillo dispuestos en los extremos de la edificación y que dan hacia las fachadas oriente y occidente, disminuyendo así, la transferencia de calor al espacio central en color azul.

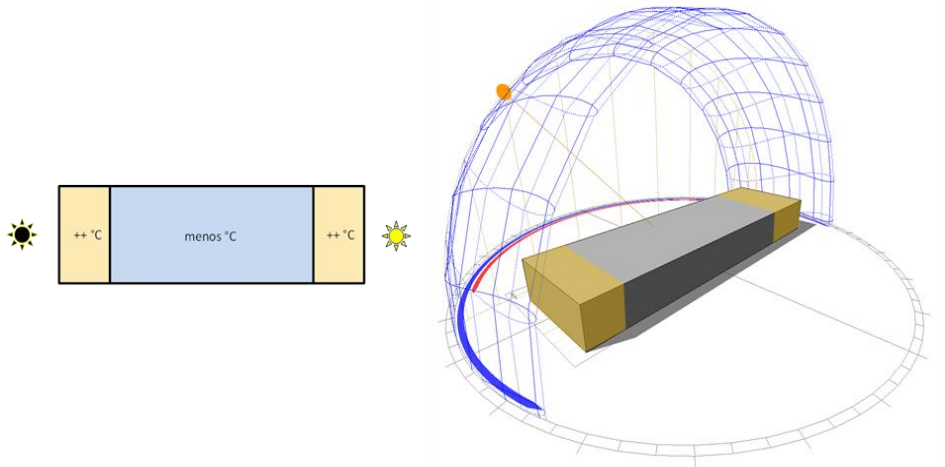


Figura 33. Diagrama de recomendación zonificación bioclimática
Fuente: Elaboración propia

3.6.5. Ventilación natural, climatización híbrida

Por tratarse de un clima cálido húmedo, donde las temperaturas altas son homogéneas durante la mayor parte del año, es necesario implementar sistemas de ventilación con las siguientes consideraciones:

Teniendo en cuenta el cálculo de temperaturas horarias y el rango de confort descrito en el presente estudio, donde la conclusión arroja que en un 46% del día (periodo diurno) no es posible obtener temperaturas de confort en el interior, es necesario la implementación de sistemas de refrigeración mecánica (aire acondicionado); sin embargo, como el mismo estudio también arroja que con la aplicación de estrategias bioclimáticas de tipo pasivo si se puede conseguir confort en un 56% del día (periodo de noche y madrugada), se plantea realizar un diseño de **climatización híbrida**; es decir, que en el diseño arquitectónico se implemente un sistema de **ventilación natural cruzada VNC** con ventanería de apertura activa (manipulada por el usuario), con el fin de que, en los momentos donde la temperatura exterior se encuentre dentro del rango de confort (noche y madrugada), la edificación tenga la posibilidad de abrirse a la ventilación natural.

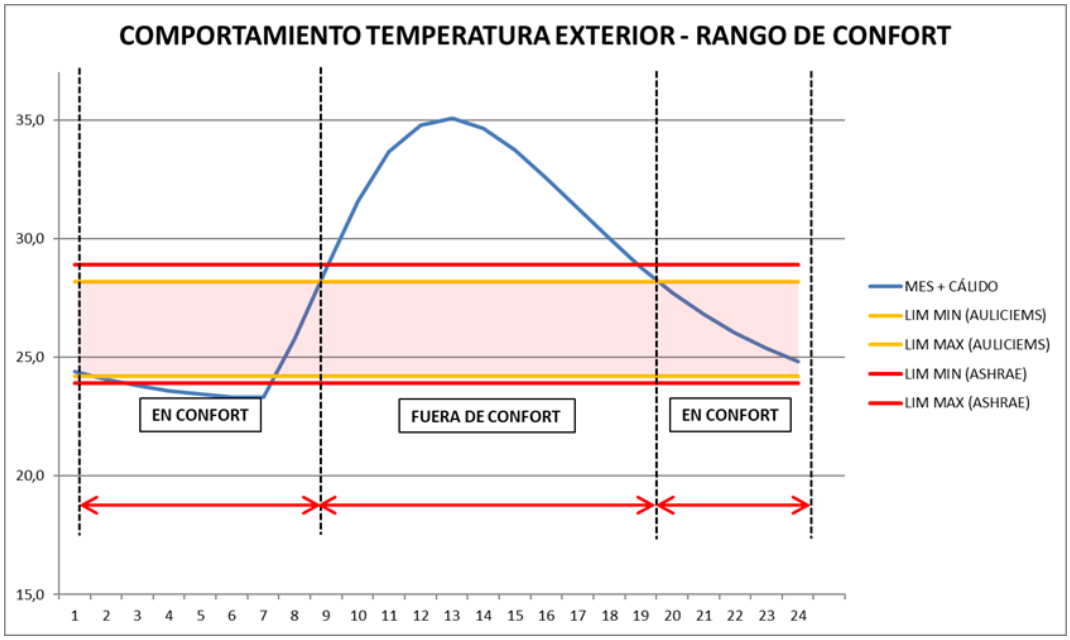


Figura 34. Comportamiento del rango de confort enfoque adaptativo Aulliciems y temperatura exterior
Fuente: Elaboración propia

Bajo esta premisa, se debe implementar en la arquitectura un diseño de ventilación natural cruzada VNC, buscando aberturas de ventilación en presión positiva y negativa sobre fachadas norte y sur. El diseño de distribución espacial en el interior de la edificación, deberá ser encaminado a minimizar al máximo el uso de particiones interiores, con espacios de dimensiones amplias, con el fin de facilitar el flujo de la ventilación, así como la utilización de espacios altos, minimizando la acumulación de calor en los sectores superiores internos de cielo rasos y cubiertas, tal y como se indica en los siguientes gráficos:

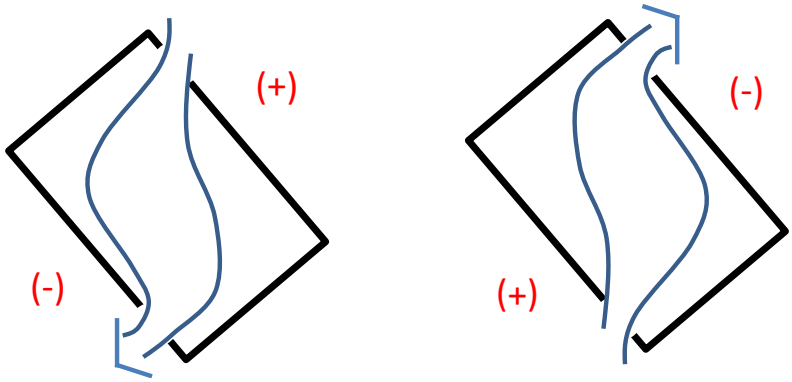


Figura 35. Diagrama de ventilación VNC para un espacio típico
Fuente: Elaboración propia

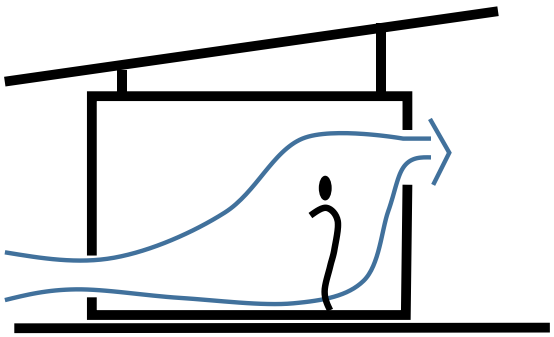


Figura 36. Diagrama de ventilación VNC corte para un espacio típico
Fuente: Elaboración propia

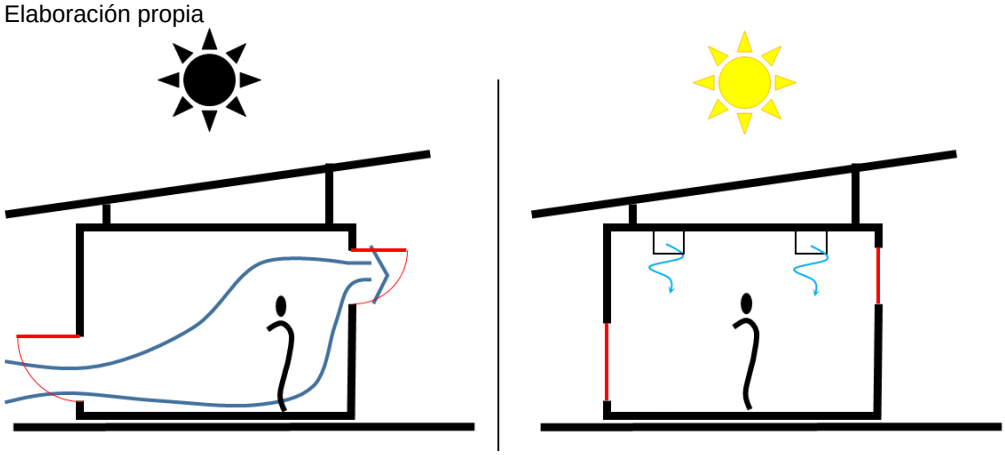


Figura 37. Diagrama de ventilación en horas de confort y bloqueo en horas fuera de rango de confort con apoyo mecánico
Fuente: Elaboración propia

3.6.6. Materiales y sistema constructivo de la envolvente.

Se recomienda el uso de sistemas constructivos para la envolvente arquitectónica con valores de transmitancia térmica menores a 1,0 W/M2°C/ (fachada y cubierta). Para el caso de la ventanería, se recomienda valores de transmitancia térmica menores a 3.0 W/M2°C. **Es importante anotar que, cumplir estos valores será de suma importancia al momento de calcular el sistema de aire acondicionado ya que, bajo la premisa de la**

eficiencia energética y de costos de equipos de refrigeración, una envolvente arquitectónica bien diseñada, permitirá minimizar el tamaño de los equipos de aire acondicionado, y por ende la potencia de uso, que se verá reflejado en el consumo eléctrico en la vida útil del proyecto.

3.6.7. Bioclimática de espacios abiertos

En lo que respecta a las zonas de espacio público tales como plazas, plazoletas, andenes, caminos, senderos, etc, se recomienda la utilización de materiales que disminuyan el efecto isla de calor, es decir con baja absortancia térmica, con el fin de disminuir la acumulación de radiación solar y que sea emitida al proyecto.

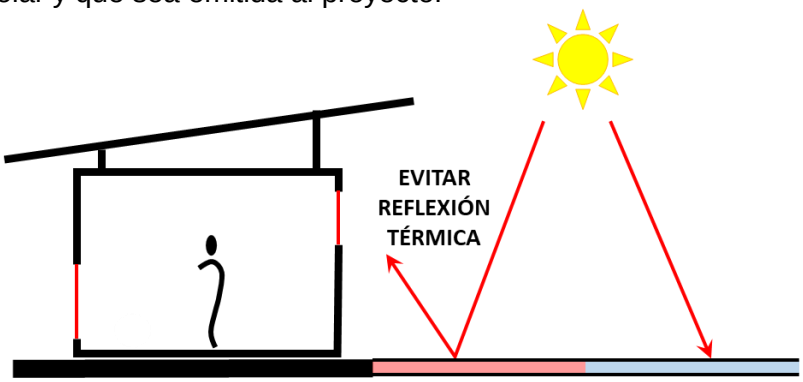


Figura 38. Diagrama de ventilación en horas de confort y bloqueo en horas fuera de rango de confort con apoyo mecánico
Fuente: Elaboración propia

Implementar arborización en fachadas oriente y occidente para bloquear radiación solar tanto en la mañana como en la tarde, como se muestra en la siguiente figura.

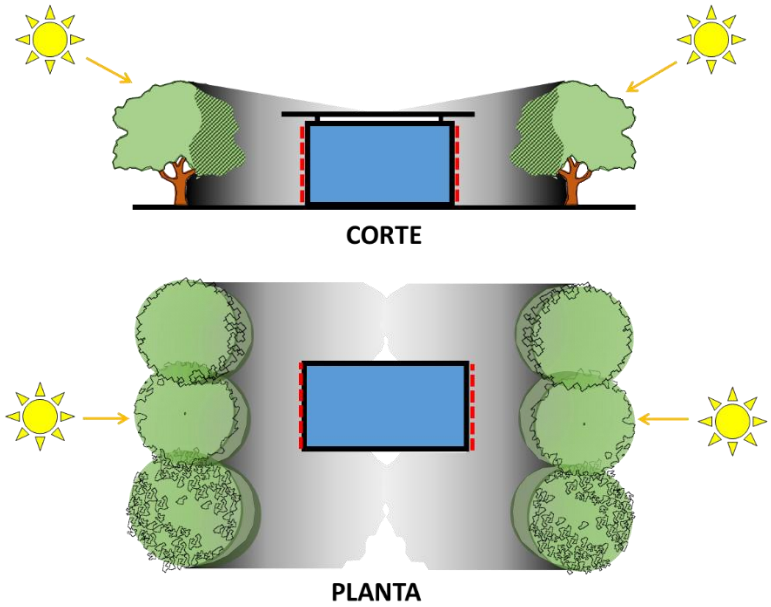


Figura 39. Ejemplo de paisajismo protección solar mañana y tarde
Fuente: Elaboración propia

Incluir en las circulaciones peatonales, plazoletas de estancia y/o plazas, arborización principalmente en los costados oriente y occidente, con el fin de generar sombras durante la mañana y tarde, como se muestra en la siguiente figura:

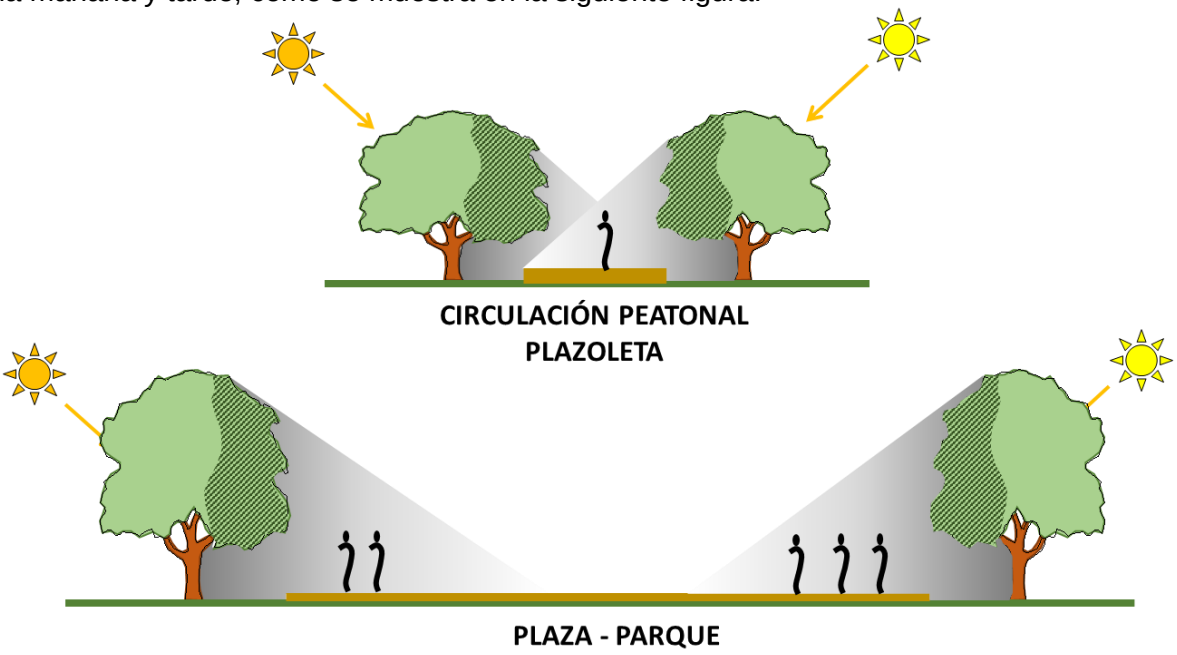


Figura 40 Ejemplo de paisajismo para sombreamiento de circulaciones exteriores, plazas y plazoletas en las mañanas y tardes
Fuente: Elaboración propia

3.6.8 Análisis de preexistencias y corrección del entorno

Se refiere al análisis de determinantes físicas existentes que limiten o sean beneficiosas para mejorar las condiciones térmicas del proyecto, las cuales se denominan **preexistencias**; y la **corrección del entorno**, que se refiere a aquellas modificaciones que se puedan realizar a nivel físico del terreno tales como topografía o paisajismo, con el fin de aumentar los beneficios bioclimáticos.

Para este caso, como **preexistencias** físicas del predio, se cuenta con grandes masas de árboles que a nivel bioclimático pueden utilizarse a favor del proyecto para generar sombra a la edificación.

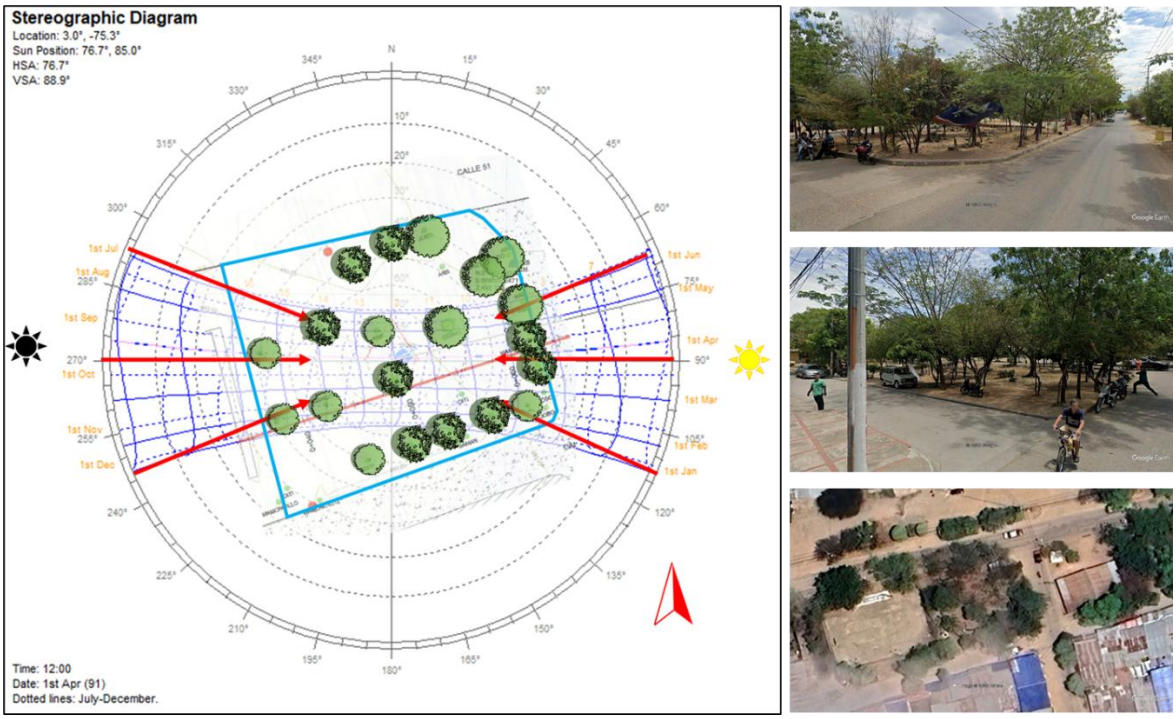


Figura 41. Diagrama de preexistencias del predio
Fuente: Elaboración propia

Como **corrección del entorno**, se recomienda implementar en el diseño paisajístico, arborización en el lindero occidente sobre la cancha existente, que permitirá bloquear la radiación solar en la tarde, convirtiéndose en estrategia de protección solar de forma natural.

Así mismo, dependiendo del diseño de implantación, se recomienda aplicar las estrategias referentes a bioclimática de espacios abiertos, mediante el diseño de paisajismo, así:

- Evitar materiales altamente absorbentes de calor.
- Generar sombras con la vegetación a edificaciones, zonas duras, plazas, plazoletas, circulaciones peatonales.
- Generar direccionamiento, canales y zonas de efecto Venturi con los vientos predominantes.

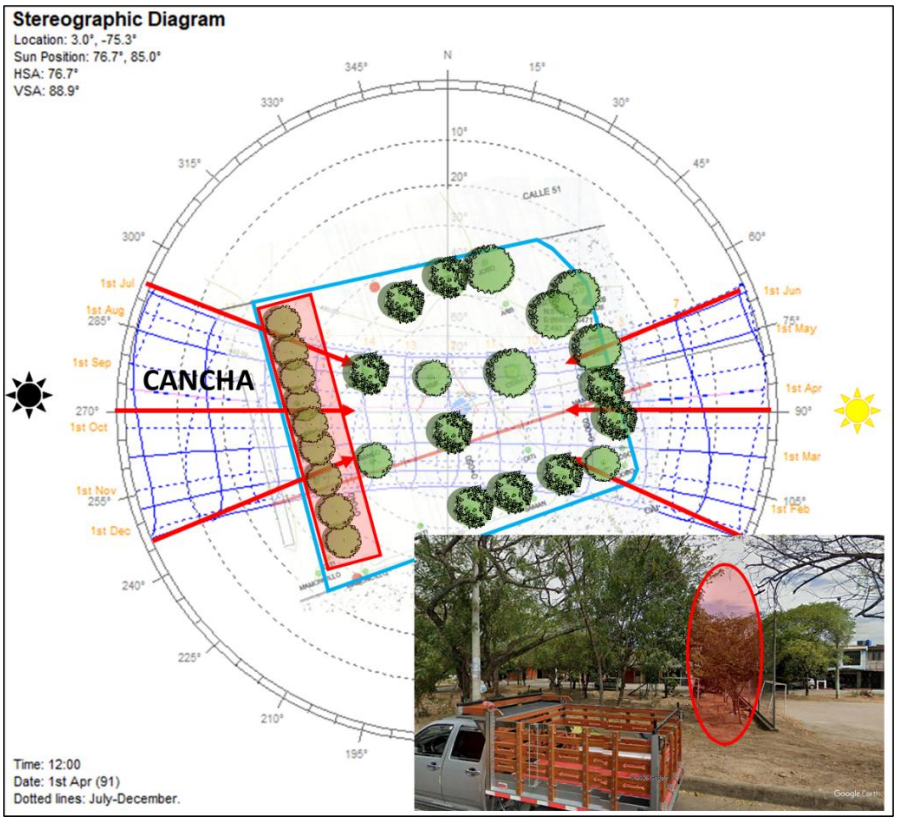


Figura 42. Diagrama de corrección del entorno
Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 4.

DISEÑO Y CÁLCULO BIOCLIMATICO

4.1. ESQUEMA BÁSICO DE IMPLANTACIÓN

Ya establecidas las estrategias bioclimáticas a implementar, se procede a su aplicación desde el nivel de implantación y esquema básico, así:

4.1.1. Orientación por asoleación

De acuerdo a la orientación del lote y a las recomendaciones descritas en el capítulo anterior, se desarrolla la implantación del proyecto orientando la zona de ocupación (información) en sentido del eje oriente-occidente, de tal forma que la fachadas larga de dicho espacio se sitúe hacia el norte, minimizando así las áreas de fachada con alto intercambio energético por radiación solar directa, tanto en la mañana como en la tarde respectivamente.

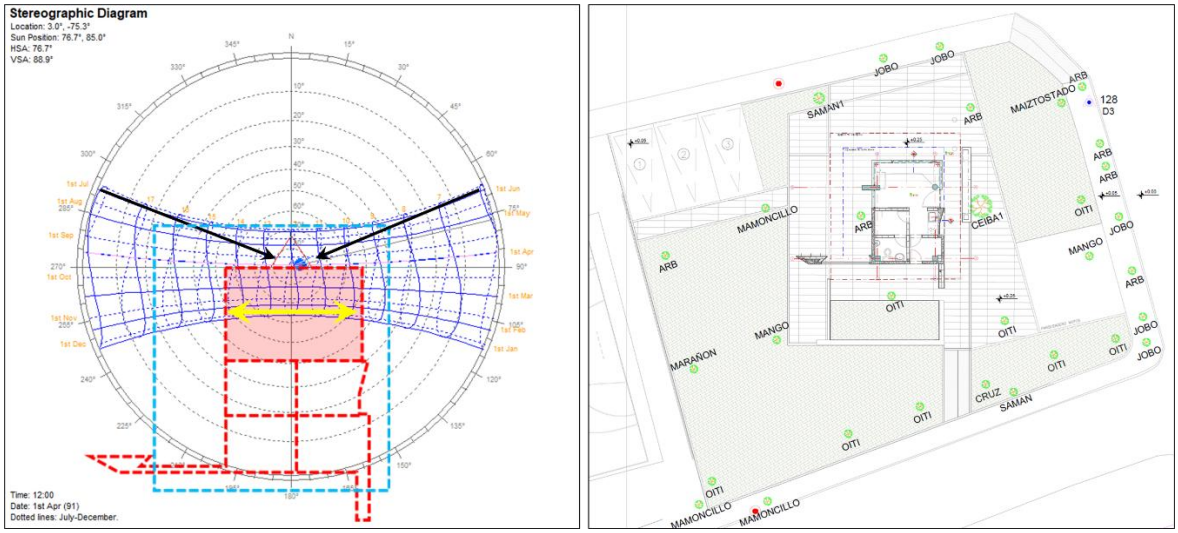


Figura 43. Diagrama de implantación por orientación
Fuente: Elaboración propia a partir de Autodesk Ecotect Analysis (Versión 2011) [Software de computo]. Bogotá, Colombia: Autodesk, Inc. y planos arquitectónicos

4.1.2. Forma general de la edificación

Se mantiene el diseño original del CAI, donde la zona ocupada (información) es de forma alargada en sentido del eje oriente - occidente buscando que las fachadas más cortas sean las que reciban la radiación solar directa en las mañana y tardes, minimizando así el intercambio energético con el interior.

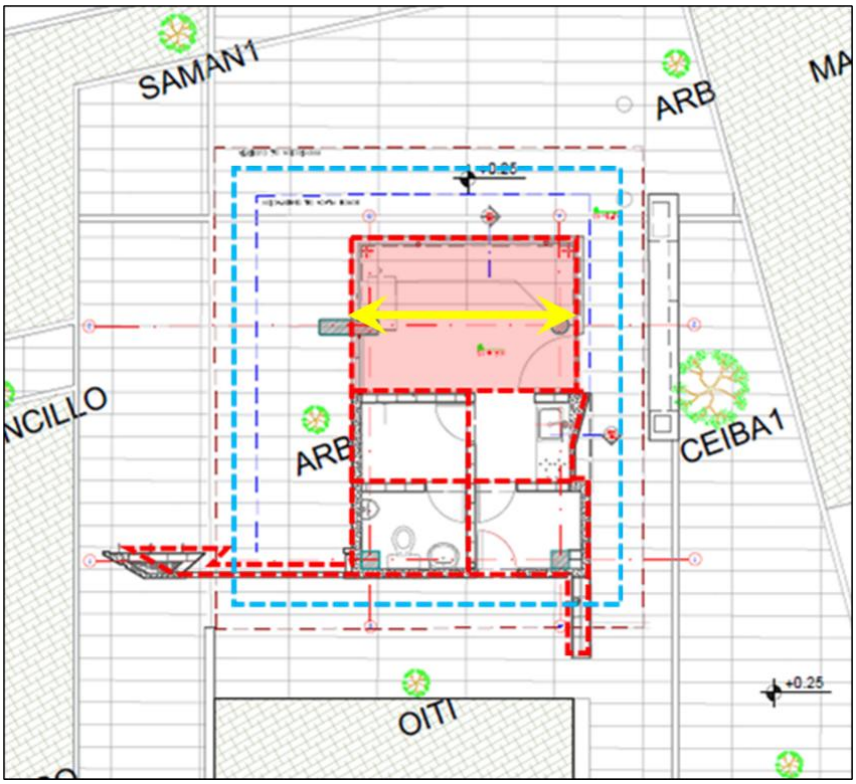


Figura 44. Diagrama de forma general de las edificaciones
Fuente: Elaboración propia a partir de planos arquitectónicos

4.2. SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

Teniendo en cuenta el resultado obtenido de rango de confort bajo el modelo de confort adaptativo descrito en el capítulo de diagnóstico bioclimático, cuya conclusión principal es que durante el día la curva de temperatura exterior está por encima del rango mencionado, y que aunado a lo anterior, se poseen cargas térmicas internas representativas las 24 horas del día por su programación de uso, se determina que es necesario implementar acondicionamiento de aire de tipo mecánico (aire acondicionado) en el proyecto.

No obstante, aunque la recomendación es apoyo mecánico, las estrategias bioclimáticas servirán para mitigar las afectaciones solares y de transmitancia térmica de calor hacia el interior a través de la envolvente arquitectónica, lo que conlleva a la minimización de la potencia y uso del sistema de aire acondicionado como estrategia de eficiencia energética.

4.2.1. Distribución del sistema de climatización

Teniendo en cuenta la estrategia de climatización planteada en el punto anterior, se describe en las siguientes gráficas los espacios donde se implementará cada uno de los sistemas propuestos con su descripción, así:

Ventilación natural: compuesto sólo por **ventilación unilateral** en el baño para entrada o salida de aire desde el exterior.

Aire Acondicionado: compuesto por **equipo HVAC** para la zona de ocupación constante que corresponde al área de información/recepción.

Nota: el sistema de aire acondicionado será diseñados por el respectivo profesional mecánico de la consultoría.

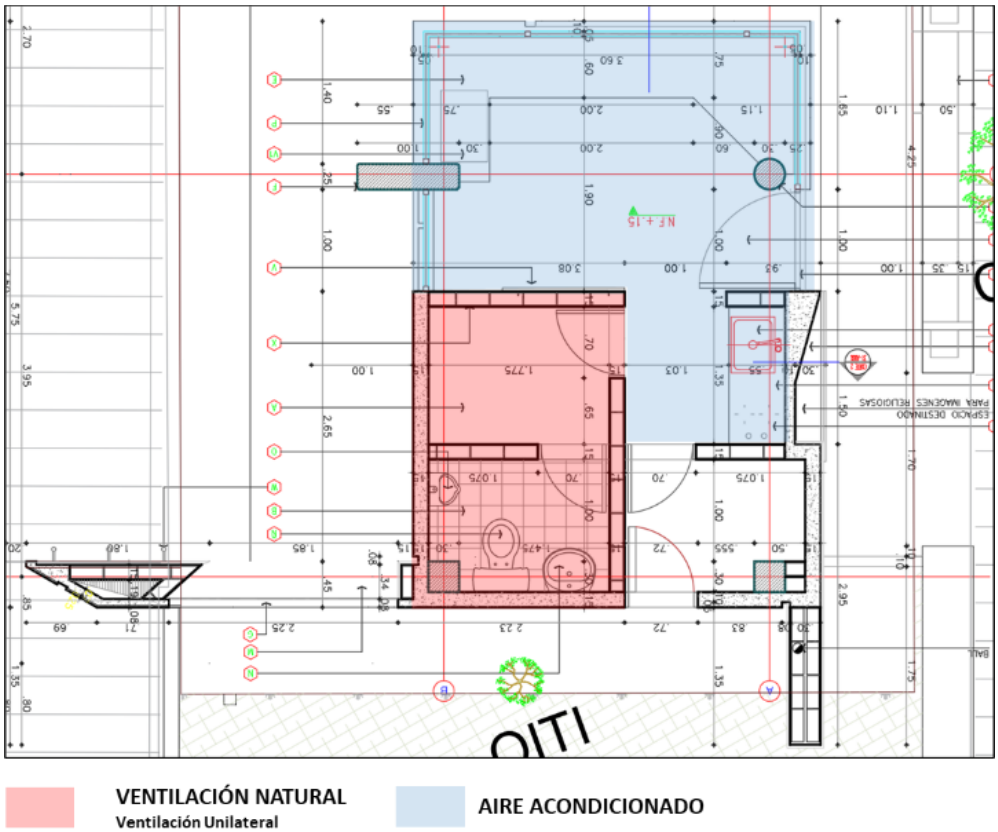


Figura 45. Distribución del sistema de climatización
Fuente: Elaboración propia a partir de planos arquitectónicos

4.3 PROTECCION SOLAR

Teniendo en cuenta el análisis de trayectoria solar y la correcta determinación de implantación, las afectaciones por radiación fuertes serán en las fachadas oriente y occidente durante todo el día y la totalidad del año, y las afectaciones leves o mínimas, sólo se darán en los solsticios de junio y diciembre con fechas máximas los 21 y con ángulos de sombra vertical y horizontal bajos, los cuales a su vez disminuyen en los siguientes meses siendo nulos.

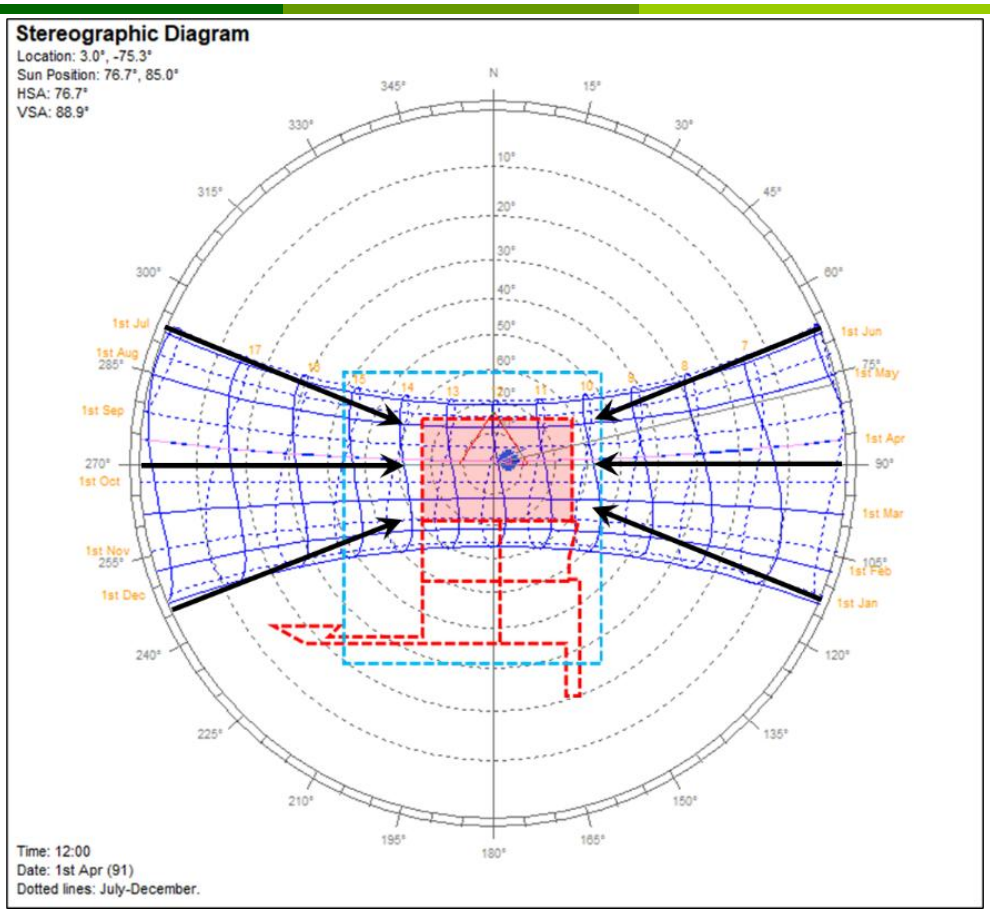


Figura 46. Diagrama estereográfico de análisis de trayectoria solar a nivel de implantación
Fuente: Elaboración propia a partir de gráficos de Autodesk Ecotect Analysis (Versión 2011) [Software de computo]. Bogotá, Colombia: Autodesk, Inc.

Por tanto, sólo será necesario implementar las siguientes estrategias de protección solar:

1. Implementar dispositivos de protección solar en forma de aleros en la totalidad de las fachadas, los cuales, el diseño original del CAI ya los provee, sin embargo aumentando la distancia del alero oriental a 1,20 m de la fachada.

2. Implementar aislamiento térmico en cubierta, para evitar la trasferencia de calor mayormente al medio día, cuando la potencia de radiación solar directa es mayor, con ángulos cercanos a la perpendicular de la horizontal de la cubierta.

3. Mantener la vegetación existente alrededor del CAI, la cual sirve como obstrucción de radiación solar durante todas las mañanas y tardes de todo el año.

4.3.1. Protección solar de la envolvente arquitectónica

La protección solar de la envolvente arquitectónica radica en disminuir las ganancias de calor hacia el interior de la edificación por efectos de la radiación solar directa a través de ventanas y la conductividad térmica a través de los materiales del sistema constructivo (muros y cubierta) lo cual se integra al presente proyecto de la siguiente forma:

4.3.1.2. Cálculo de ángulos de sombra (vertical y horizontal), diseño de aleros y máscaras de sombra de eficiencia

4.3.1.2.1. Alero fachada norte

Fecha crítica: 21 de junio
Horas críticas: se requiere proteger el ingreso de radiación solar directa desde las 9:00 AM hasta las 3:30 PM
Dimensión del alero diseño original: 1,30 m
Ángulo de sombra vertical: 58,0°

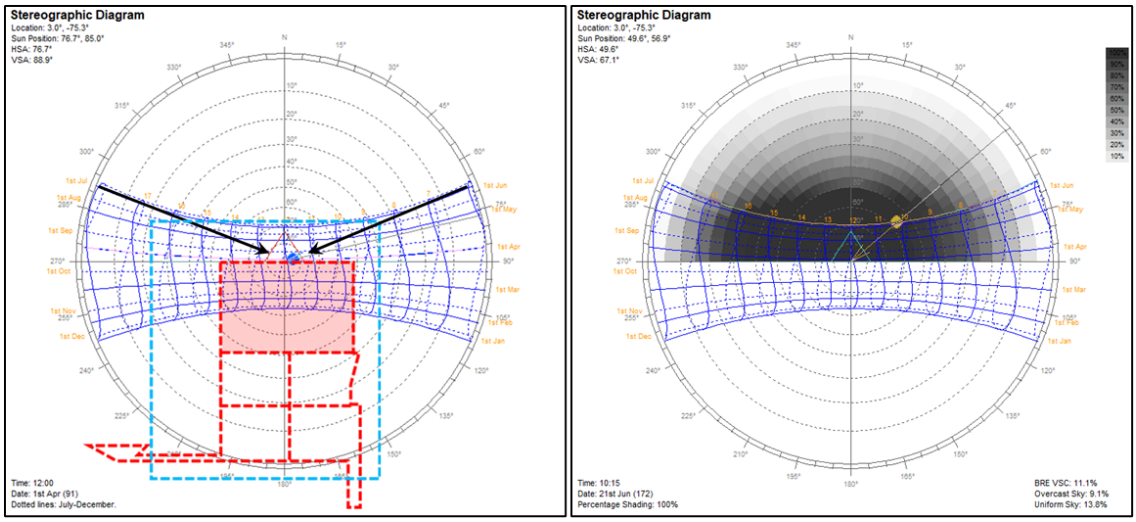
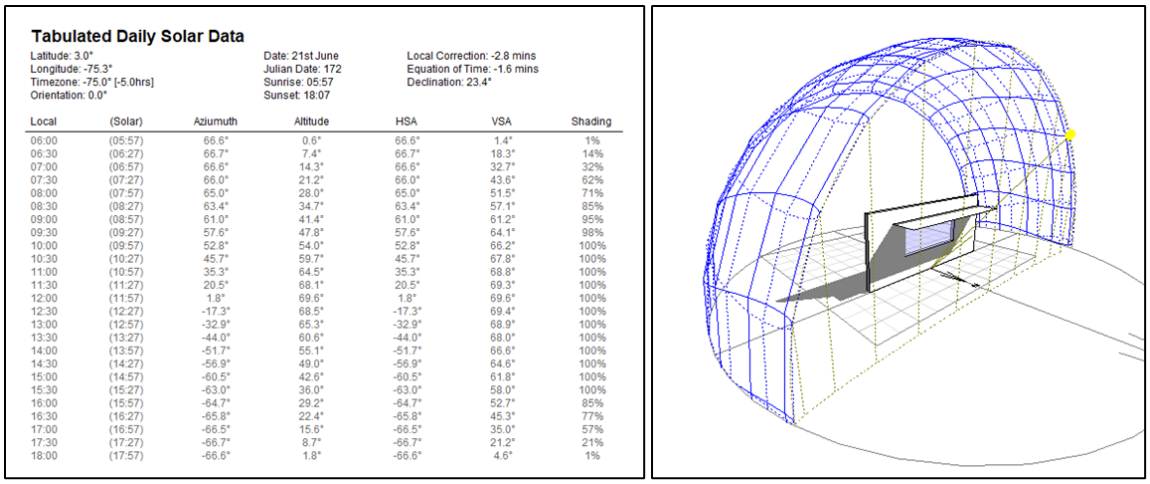


Figura 47. Cálculo alero y porcentaje de eficiencia fachada norte
Fuente: Elaboración propia

Simulación y ángulos de sombra vertical y horizontal



Tabulated Daily Solar Data

Latitude: 3.0°
Longitude: -75.3°
Timezone: -75.0° [-5.0hrs]
Orientation: 0.0°

Date: 21st June
Julian Date: 172
Sunrise: 05:57
Sunset: 18:07

Local Correction: -2.8 mins
Equation of Time: -1.6 mins
Declination: 23.4°

Local	(Solar)	Aziumuth	Altitude	HSA	VSA	Shading
06:00	(05:57)	66.6°	0.6°	66.6°	1.4°	1%
06:30	(06:27)	66.7°	7.4°	66.7°	18.3°	14%
07:00	(06:57)	66.6°	14.3°	66.6°	32.7°	32%
07:30	(07:27)	66.0°	21.2°	66.0°	43.6°	62%
08:00	(07:57)	65.0°	28.0°	65.0°	51.5°	71%
08:30	(08:27)	63.4°	34.7°	63.4°	57.1°	85%
09:00	(08:57)	61.0°	41.4°	61.0°	61.2°	95%
09:30	(09:27)	57.6°	47.8°	57.6°	64.1°	98%
10:00	(09:57)	52.8°	54.0°	52.8°	66.2°	100%
10:30	(10:27)	45.7°	59.7°	45.7°	67.8°	100%
11:00	(10:57)	35.3°	64.5°	35.3°	68.8°	100%
11:30	(11:27)	20.5°	68.1°	20.5°	69.3°	100%
12:00	(11:57)	1.8°	69.6°	1.8°	69.6°	100%
12:30	(12:27)	-17.3°	68.5°	-17.3°	69.4°	100%
13:00	(12:57)	-32.9°	65.3°	-32.9°	68.9°	100%
13:30	(13:27)	-44.0°	60.6°	-44.0°	68.0°	100%
14:00	(13:57)	-51.7°	55.1°	-51.7°	66.6°	100%
14:30	(14:27)	-56.9°	49.0°	-56.9°	64.6°	100%
15:00	(14:57)	-60.5°	42.6°	-60.5°	61.8°	100%
15:30	(15:27)	-63.0°	36.0°	-63.0°	58.0°	100%
16:00	(15:57)	-64.7°	29.2°	-64.7°	52.7°	85%
16:30	(16:27)	-65.8°	22.4°	-65.8°	45.3°	77%
17:00	(16:57)	-66.5°	15.6°	-66.5°	35.0°	57%
17:30	(17:27)	-66.7°	8.7°	-66.7°	21.2°	21%
18:00	(17:57)	-66.6°	1.8°	-66.6°	4.6°	1%

Figura 48. Simulación y ángulos de sombra vertical y horizontal alero fachada norte
Fuente: Elaboración propia a partir de gráficos de Autodesk Ecotect Analysis (Versión 2011) [Software de computo]. Bogotá, Colombia: Autodesk, Inc.

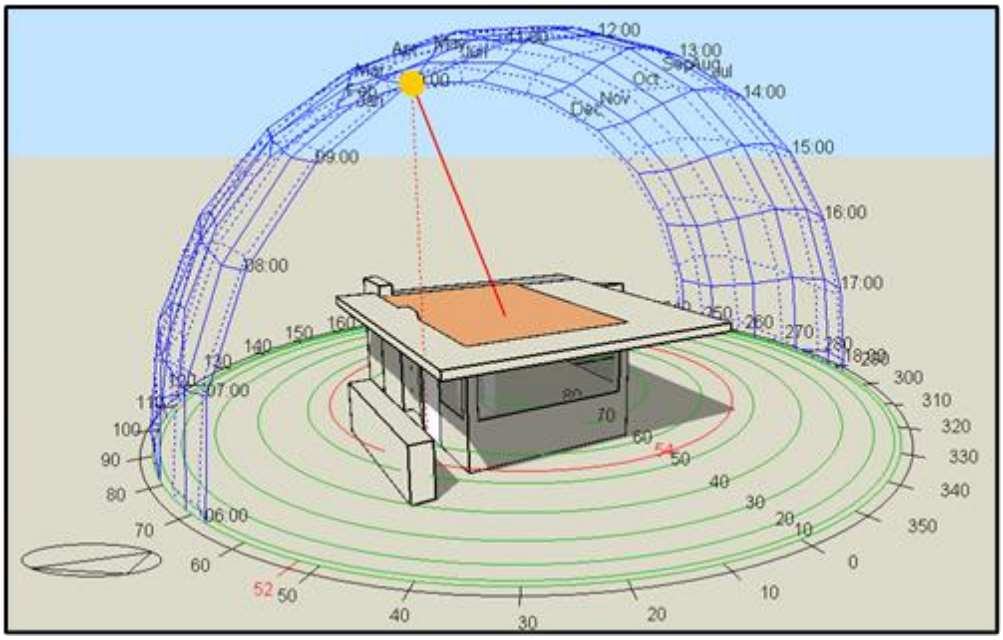


Figura 49. Simulación trayectoria solar alero fachada norte
Fuente: Elaboración propia a partir de gráficos de Autodesk Ecotect Analysis (Versión 2011) [Software de computo]. Bogotá, Colombia: Autodesk, Inc.

4.3.1.2.2. Alero fachada occidente

Fecha crítica: 21 de marzo/21 de septiembre (equinoccio)
Horas críticas: se requiere proteger el ingreso de radiación solar directa hasta las 3:30 PM
Dimensión del alero diseño original: 2,10 m
Ángulo de sombra vertical: 39,6°

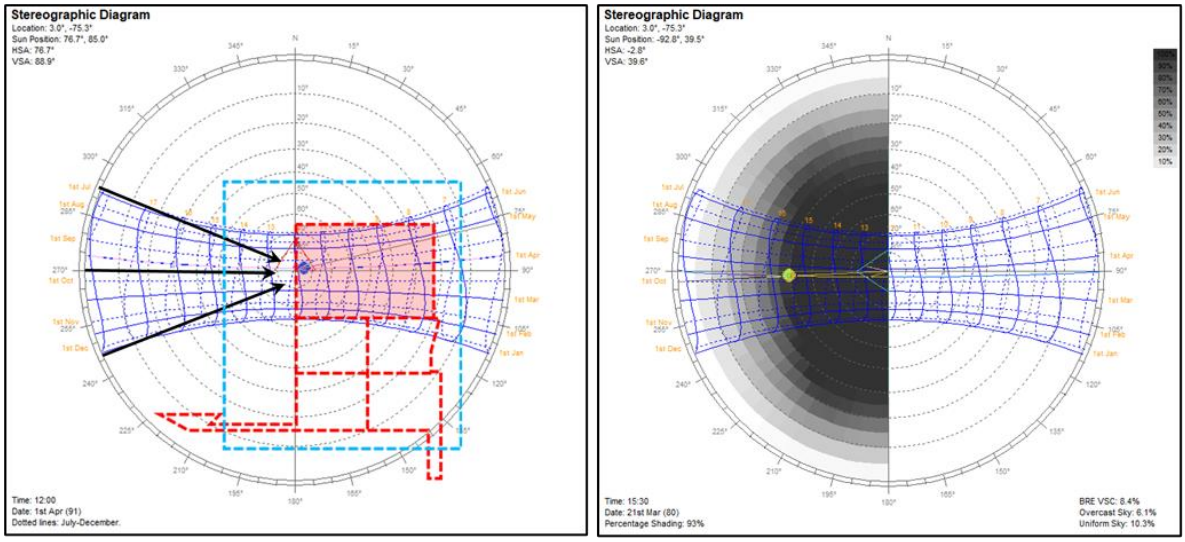
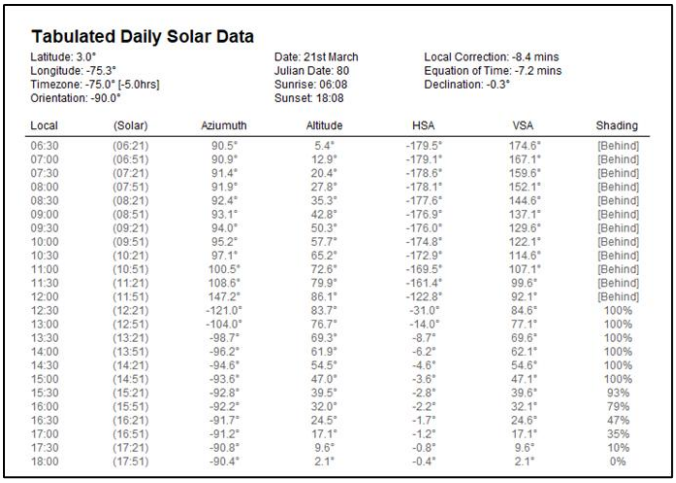


Figura 50. Cálculo alero y porcentaje de eficiencia fachada occidente
Fuente: Elaboración propia

Simulación y ángulos de sombra vertical y horizontal



Tabulated Daily Solar Data

Latitude: 3.0° | Date: 21st March | Local Correction: -8.4 mins
Longitude: -75.3° | Julian Date: 80 | Equation of Time: -7.2 mins
Timezone: -75.0° [-5.0hrs] | Sunrise: 06:08 | Declination: -0.3°
Orientation: -90.0° | Sunset: 18:08

Local	(Solar)	Azimuth	Altitude	HSA	VSA	Shading
06:30	(06:21)	90.5°	5.4°	-179.5°	174.6°	[Behind]
07:00	(06:51)	90.9°	12.9°	-179.1°	167.1°	[Behind]
07:30	(07:21)	91.4°	20.4°	-178.6°	159.6°	[Behind]
08:00	(07:51)	91.9°	27.8°	-178.1°	152.1°	[Behind]
08:30	(08:21)	92.4°	35.3°	-177.6°	144.6°	[Behind]
09:00	(08:51)	93.1°	42.8°	-176.9°	137.1°	[Behind]
09:30	(09:21)	94.0°	50.3°	-176.0°	129.6°	[Behind]
10:00	(09:51)	95.2°	57.7°	-174.8°	122.1°	[Behind]
10:30	(10:21)	97.1°	65.2°	-172.9°	114.6°	[Behind]
11:00	(10:51)	100.5°	72.6°	-169.5°	107.1°	[Behind]
11:30	(11:21)	108.6°	79.9°	-161.4°	99.6°	[Behind]
12:00	(11:51)	147.2°	86.1°	-122.8°	92.1°	[Behind]
12:30	(12:21)	-121.0°	83.7°	-31.0°	84.6°	100%
13:00	(12:51)	-104.0°	76.7°	-14.0°	77.1°	100%
13:30	(13:21)	-98.7°	69.3°	-8.7°	69.6°	100%
14:00	(13:51)	-96.2°	61.9°	-6.2°	62.1°	100%
14:30	(14:21)	-94.6°	54.5°	-4.6°	54.6°	100%
15:00	(14:51)	-93.6°	47.0°	-3.6°	47.1°	100%
15:30	(15:21)	-92.8°	39.5°	-2.8°	39.6°	93%
16:00	(15:51)	-92.2°	32.0°	-2.2°	32.1°	79%
16:30	(16:21)	-91.7°	24.5°	-1.7°	24.6°	47%
17:00	(16:51)	-91.2°	17.1°	-1.2°	17.1°	35%
17:30	(17:21)	-90.8°	9.6°	-0.8°	9.6°	10%
18:00	(17:51)	-90.4°	2.1°	-0.4°	2.1°	0%

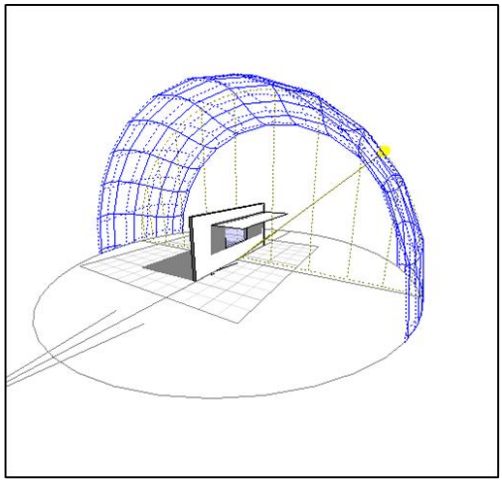


Figura 51. Simulación y ángulos de sombra vertical y horizontal alero fachada occidente
Fuente: Elaboración propia a partir de gráficos de Autodesk Ecotect Analysis (Versión 2011) [Software de computo]. Bogotá, Colombia: Autodesk, Inc.

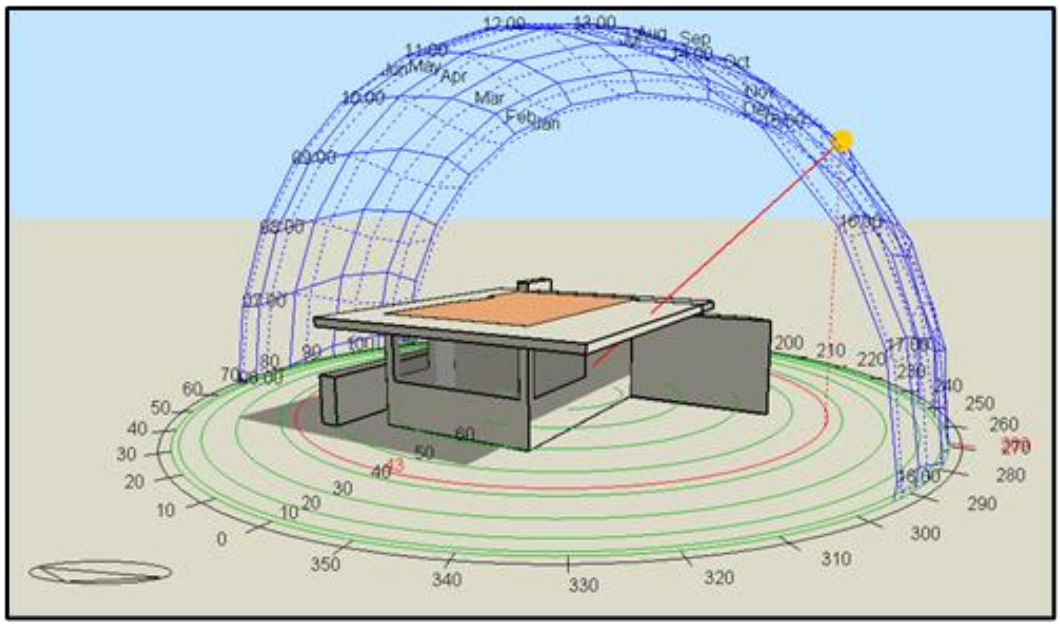


Figura 52. Simulación trayectoria solar alero fachada occidente
Fuente: Elaboración propia a partir de gráficos de Autodesk Ecotect Analysis (Versión 2011) [Software de computo]. Bogotá, Colombia: Autodesk, Inc.

4.3.1.2.3. Alero fachada oriente

Fecha crítica: 21 de marzo/21 de septiembre (equinoccio)
Horas críticas: se requiere proteger el ingreso de radiación solar directa desde las 9:00 AM
Dimensión del alero diseño original: 0,80 m

Propuesta de dimensión de alero para mayor protección: 1,30 m
Ángulo de sombra vertical: 42,9°

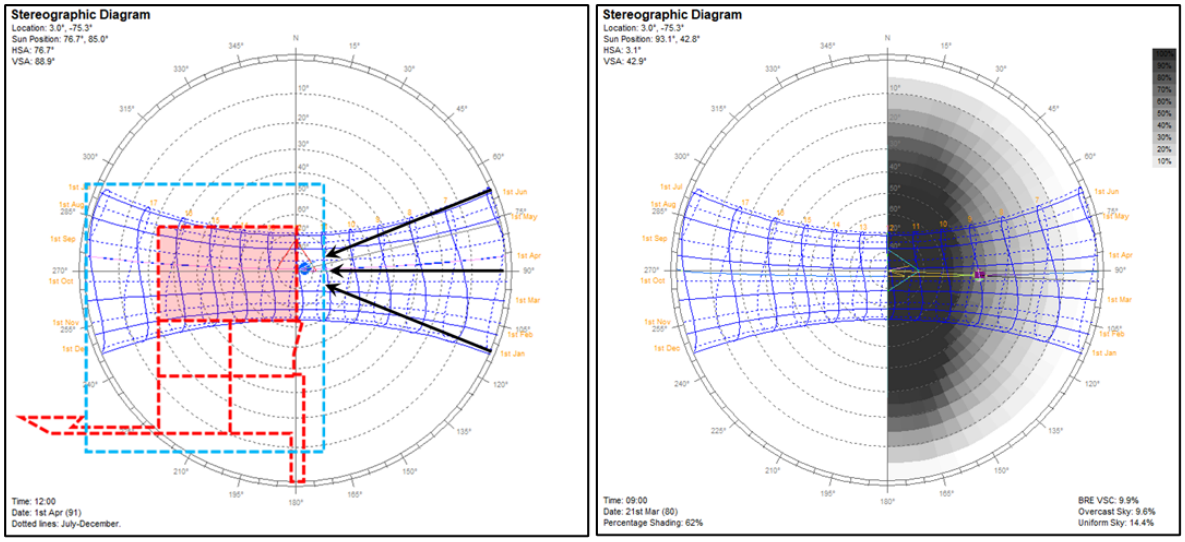
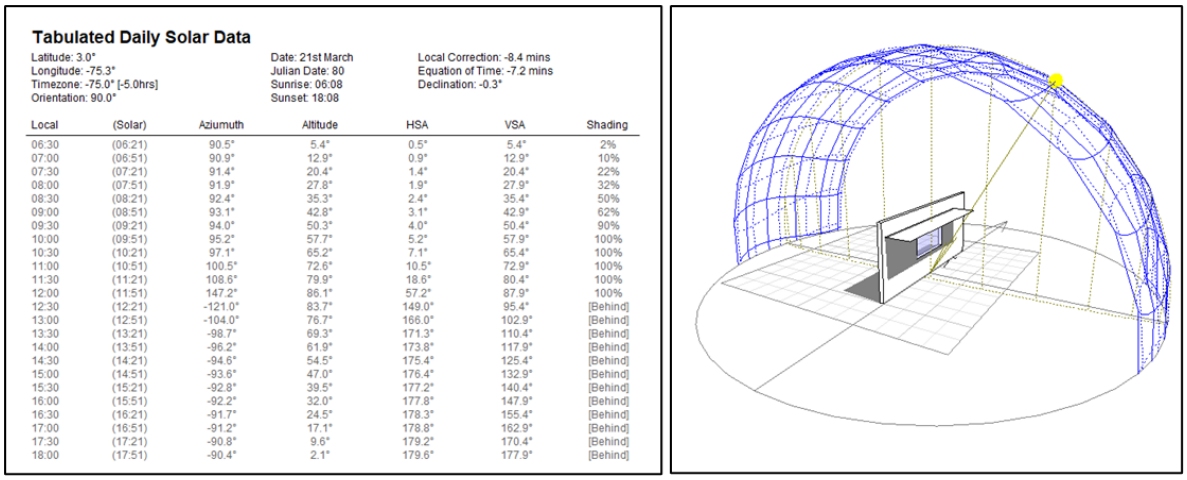


Figura 53. Cálculo alero y porcentaje de eficiencia fachada oriente
Fuente: Elaboración propia

Simulación y ángulos de sombra vertical y horizontal



Tabulated Daily Solar Data

Latitude: 3.0°
Longitude: -75.3°
Timezone: -75.0° [-5.0hrs]
Orientation: 90.0°

Date: 21st March
Julian Date: 80
Sunrise: 06:08
Sunset: 18:08

Local Correction: -8.4 mins
Equation of Time: -7.2 mins
Declination: -0.3°

Local	(Solar)	Azimuth	Altitude	HSA	VSA	Shading
06:30	(06:21)	90.5°	5.4°	0.5°	5.4°	2%
07:00	(06:51)	90.9°	12.9°	0.9°	12.9°	10%
07:30	(07:21)	91.4°	20.4°	1.4°	20.4°	22%
08:00	(07:51)	91.9°	27.8°	1.9°	27.9°	32%
08:30	(08:21)	92.4°	35.3°	2.4°	35.4°	50%
09:00	(08:51)	93.1°	42.8°	3.1°	42.9°	62%
09:30	(09:21)	94.0°	50.3°	4.0°	50.4°	90%
10:00	(09:51)	95.2°	57.7°	5.2°	57.9°	100%
10:30	(10:21)	97.1°	65.2°	7.1°	65.4°	100%
11:00	(10:51)	100.5°	72.6°	10.5°	72.9°	100%
11:30	(11:21)	108.6°	79.9°	18.6°	80.4°	100%
12:00	(11:51)	147.2°	86.1°	57.2°	87.9°	100%
12:30	(12:21)	-121.0°	83.7°	149.0°	95.4°	[Behind]
13:00	(12:51)	-104.0°	76.7°	166.0°	102.9°	[Behind]
13:30	(13:21)	-98.7°	69.3°	171.3°	110.4°	[Behind]
14:00	(13:51)	-96.2°	61.9°	173.8°	117.9°	[Behind]
14:30	(14:21)	-94.6°	54.5°	175.4°	125.4°	[Behind]
15:00	(14:51)	-93.6°	47.0°	176.4°	132.9°	[Behind]
15:30	(15:21)	-92.8°	39.5°	177.2°	140.4°	[Behind]
16:00	(15:51)	-92.2°	32.0°	177.8°	147.9°	[Behind]
16:30	(16:21)	-91.7°	24.5°	178.3°	155.4°	[Behind]
17:00	(16:51)	-91.2°	17.1°	178.8°	162.9°	[Behind]
17:30	(17:21)	-90.8°	9.6°	179.2°	170.4°	[Behind]
18:00	(17:51)	-90.4°	2.1°	179.6°	177.9°	[Behind]

Figura 54. Simulación y ángulos de sombra vertical y horizontal alero fachada oriente
Fuente: Elaboración propia a partir de gráficos de Autodesk Ecotect Analysis (Versión 2011) [Software de computo]. Bogotá, Colombia: Autodesk, Inc.

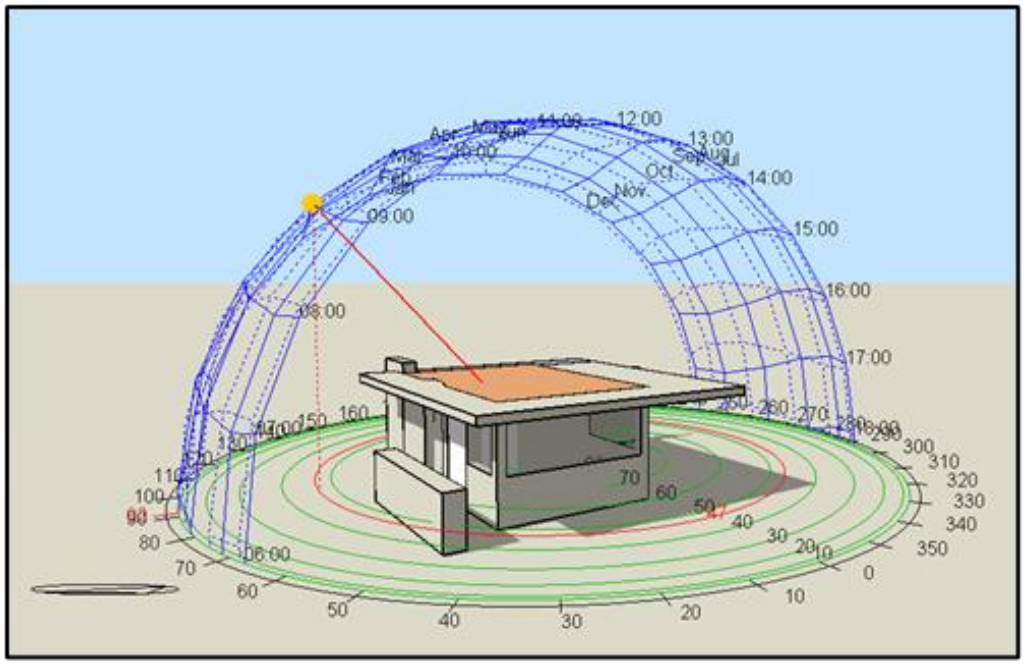


Figura 55. Simulación trayectoria solar alero fachada oriente
Fuente: Elaboración propia a partir de gráficos de Autodesk Ecotect Analysis (Versión 2011) [Software de computo]. Bogotá, Colombia: Autodesk, Inc.

4.3.1.3. Propiedades térmicas de materiales y sistema constructivo de la envolvente arquitectónica.

Para la definición de la materialidad de la envolvente arquitectónica, se tiene en cuenta el sistema constructivo establecido por la Policía Nacional, el cual establece los siguientes parámetros:

NIVEL DE SEGURIDAD 4

- Muros perimetrales en concreto e=20 cms min
- Vidrios con blindaje nivel 3 (28 a 30 mm)
- Muros internos: bloque no. 5 – e=15 cms
- Placa de cubierta aligerada: torta superior e=10 cms min - inc torta inferior
- Verificar MANUAL PARA EL COMANDO DE ATENCIÓN INMEDIATA-CAI

Teniendo en cuenta esta prexistencia del sistema constructivo, se procede a análisis de las propiedades térmicas de los materiales de acuerdo a la definición del sistema por parte de arquitectura y las ventajas y desventajas a nivel bioclimático que conllevan, definiéndose los siguientes materiales y composición constructiva de la envolvente arquitectónica:

4.3.1.3.1. Propiedades térmicas de materiales utilizados en la envolvente arquitectónica

A continuación, se describen los materiales utilizados en la envolvente arquitectónica y sus respectivas propiedades térmicas que intervienen en la transferencia de calor e intercambio

energético con el exterior, tales como densidad, índice de conductividad, resistividad, calor específico y calor específico volumétrico, las cuales igualmente serán insumo para fijar los parámetros de simulación térmica de comprobación y acciones de mejora.

Tabla 8:
Propiedades térmicas de los materiales utilizados

MATERIAL	Densidad	K = Conductividad		Resistividad	Ce = Calor específico	Cv = Calor específico volumétrico	
	Kg/m^3	W/m°C	Kcal/mhr°C	m°C/W	J/Kg°C	Kj/m^3°C	Kcal/m^3°C
PAÑETE - MORTERO	1.800,00	1,00	0,86	1,00	1.000,00	1.800,00	429,90
RECEBO COMPACTADO	1.800,00	1,79	1,54	0,56	1.190,00	2.142,00	511,58
AIRE EN CONVECCIÓN	1,16	0,25	*	*	1.006,00	*	*
ESPUMA DE POLIURETANO PROYECTADO DE CELDA CERRADA	40,00	0,03	0,02	35,71	1.045,00	55,65	13,29
VIDRIO LAMINADO	2.500,00	1,00	0,86	1,00	750,00	1.875,00	447,81
CONCRETO REFORZADO	2.400,00	1,80	1,55	0,56	1.050,00	2.520,00	601,86
BALDOSA DE GRANITO	2.300,00	1,30	1,12	0,77	840,00	1.932,00	461,43
LADRILLO DE ARCILLA	1.700,00	0,84	0,72	1,19	900,00	1.530,00	365,42

Nota. Fuente: Fernando Tudela, Manual de Arquitectura Solar, Eduard Mazria, Manuel Martín Monroy

4.3.1.3.2. Sistema constructivo, transmitancia y propiedades térmicas

A continuación, se describe el sistema constructivo utilizado en la envolvente arquitectónica y sus respectivos cálculos térmicos que intervienen en la transferencia de calor e intercambio energético con el exterior, tales como transmitancia térmica “U” y absorción solar, que igualmente serán insumo para fijar los parámetros de simulación térmica de comprobación y acciones de mejora.

Muros perimetrales

Sistema constructivo de muros perimetrales aplicados de acuerdo a instructivo de seguridad de la Policía Nacional de Colombia que, analizada la transferencia de calor “U”, es beneficioso para la evolución térmica del edificio debido a su espesor representativo, contando con condiciones físicas de inercia térmica por su masa, minimizando la velocidad de transferencia de calor hacia el interior, es decir, permite que el calor ingrese más lentamente.

Así mismo, se define la aplicación de acabado exterior en pintura gris, con índice de reflectividad medio bajo disminuyendo así la absorción de calor hacia el interior.

Tabla 9:
Propiedades térmicas sistema constructivo muros perimetrales

SISTEMA CONSTRUCTIVO		ESPESOR	TRANSMITANCIA TÉRMICA - U	ABSORCION SOLAR
MATERIAL		METROS	W/M2.K	(0-1)
CAPAS	**MUROS PERIMETRALES**	**0,220**	**3,290**	**0,300**
	EXTERIOR			
1	PAÑETE Y PINTURA GRIS	0,010		
2	MURO EN CONCRETO REFORZADO	0,200		
3	PAÑETE Y PINTURA GRIS	0,010		
	INTERIOR			

Nota. Fuente: Elaboración propia

Muros internos

Sistema constructivo de muros internos, lo cual es beneficioso para la evolución térmica del edificio debido a la masa térmica y su inercia, que permite que el calor se transfiera más lentamente de un espacio a otro.

Tabla 10:
Propiedades térmicas sistema constructivo muros internos

SISTEMA CONSTRUCTIVO		ESPESOR	TRANSMITANCIA TÉRMICA - U	ABSORCION SOLAR
MATERIAL		METROS	W/M2.K	(0-1)
CAPAS	**MUROS INTERNOS**	**0,150**	**2,89**	**0,300**
	EXTERIOR			
1	PAÑETE Y PINTURA BLANCA	0,015		
2	LADRILLO TOLETE DE ARCILLA MACIZO	0,120		
3	PAÑETE Y PINTURA BLANCA	0,015		
	INTERIOR			

Nota. Fuente: Elaboración propia

Placa de contrapiso

Sistema constructivo de placa de contrapiso la cual, para efectos térmicos, es beneficioso para la evolución térmica del edificio debido a la masa térmica y su inercia, que permite que se pierda calor por el suelo.

Tabla 11:
Propiedades térmicas sistema constructivo placa de contrapiso

SISTEMA CONSTRUCTIVO		ESPESOR	TRANSMITANCIA TÉRMICA - U	ABSORCION SOLAR
MATERIAL		METROS	W/M2.K	(0-1)
CAPAS	**PLACA DE CONTRAPISO**	**0,470**	**2,21**	**0,500**
	EXTERIOR			
1	BASE EN RECEBO COMPACTADO	0,300		
2	PLACA CONTRAPISO EN CONCRETO	0,120		
3	MORTERO DE NIVELACIÓN	0,025		
4	BALDOSA DE GRANITO PCL 5	0,025		
	INTERIOR			

Nota. Fuente: Elaboración propia

Placa de cubierta con aislamiento térmico

Sistema constructivo de placa de cubierta con aislamiento térmico con torta superior e inferior, el cual dispone de altas prestaciones de aislamiento al exterior lo cual es beneficioso para la evolución térmica del edificio ya que permite ralentizar la transferencia de calor desde el exterior en horas del mediodía que son las de mayor intensidad de radiación solar perjudicial.

Así mismo, se define la aplicación de impermeabilización de color blanco, por su alto índice de reflectividad disminuyendo así la absorción de calor hacia el interior.

Tabla 12:
Propiedades térmicas sistema constructivo placa de cubierta con aislamiento térmico

SISTEMA CONSTRUCTIVO		ESPESOR	TRANSMITANCIA TÉRMICA - U	ABSORCION SOLAR
MATERIAL		METROS	W/M2.K	(0-1)
CAPAS	**PLACA DE CUBIERTA CON AISLAMIENTO TÉRMICO**	**0,610**	**0,30**	**0,350**
	EXTERIOR			
1	CAPA DE ESPUMA DE POLIURETANO PROYECTADO DE CELDA CERRADA TERMINADA CON IMPERMEABILIZANTE ACRÍLICO, DE SILICONA O MEMBRANA DE POLIURETANO LÍQUIDA	0,050		
2	MORTERO DE NIVELACIÓN	0,030		
3	TORTA SUPERIOR DE PLACA EN CONCRETO	0,120		
4	AIRE EN CONVECCIÓN	0,350		
5	TORTA INFERIOR DE PLACA EN CONCRETO	0,060		
	INTERIOR			

Nota. Fuente: Elaboración propia

Vidrio de ventanería

Sistema constructivo aplicado en los vidrios de ventanas, con condiciones térmicas convencionales toda vez que el proyecto cuenta con diseño de protección solar que minimiza la transferencia de calor por radiación directa y conductividad.

Tabla 13:
Propiedades térmicas sistema constructivo vidrio de ventanería

SISTEMA CONSTRUCTIVO		ESPESOR	TRANSMITANCIA TÉRMICA - U	TRANSMITANCIA SOLAR	REFLECTANCIA SOLAR (INT-EXT)	TRANSMITANCIA VISIBLE	REFLECTANCIA VISIBLE (INT-EXT)
MATERIAL		METROS	W/M2.K	(0-1) %	(0-1) %	(0-1) %	(0-1) %
CAPAS	**VIDRIO VENTANAS**	**0,030**	**4,92**	**0,750**	**0,070**	**0,880**	**0,800**
	EXTERIOR						
1	VIDRIO LAMINADO 30 MM (10+10+10)	0,030					
	INTERIOR						

Nota. Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 5.

COMPROBACIÓN, SIMULACIÓN TÉRMICA Y DE CONFORT

5.1. METODOLOGÍA

Con el fin de comprobar que las estrategias bioclimáticas empleadas en el diseño fueron eficientes a nivel térmico, se realizó doble simulación térmica: la primera, denominada **línea base,** en la cual se simuló el proyecto sin apoyo mecánico; y la segunda, donde se simuló el proyecto con sistema de aire acondicionado mini Split

Para efectos de evaluación de resultados, se toman en cuenta principalmente 2 variables que intervienen directamente en la edificación y en los ocupantes: la evolución de la temperatura del aire interior y la evolución del índice PMV de confort (Voto Medio Estimado o Predicted Mean Vote previsto en la norma ASHRAE 55), así:

La evolución de la temperatura del aire interior se compara con la evolución de la temperatura del aire exterior, ambas enmarcadas en el rango de confort calculado en el presente estudio para verificar las horas en las que el proyecto se encuentra en confort.

La evolución del índice PMV de confort que corresponde al estado de comodidad o incomodidad en el que se encuentran las personas en el interior, se evalúa con la escala numérica de FANGER estandarizada a nivel internacional, la cual se divide en 7 puntos principales que van desde el frío extremo hasta el calor extremo:

+3,0 Mucho calor (Inaceptable)
+2,0 Calor
+1,0 Ligeramente caluroso
0,0 Neutral (Perfección / Sin sensación de frío ni calor)
-1,0 Ligeramente fresco
-2,0 Frío
-3,0 Mucho frío (Inaceptable)

Donde el estado de confort de una persona se espera se encuentre lo más cercano a **0,0** entre **-1,0** a **+1,0.**

5.2. SIMULACIÓN TÉRMICA Y DE CONFORT

5.2.1. Parámetros y estrategias de simulación aplicados

Día de simulación: septiembre 4 el cual presenta la mayor temperatura del año.

Programación de uso: 24 horas / 7 días

Densidad de ocupación: de acuerdo al número de personas/M2 en la zona de información /recepción que se estima de 3 personas con carga de 0,34 W/M2

Cargas térmicas internas por actividad - tasa de metabolismo: 140 W/persona (trabajo ligero)

Nivel de vestimenta: 0,50 CLO

Cargas térmicas internas por equipos (computadoras y equipos de oficina): un computador con carga de 6,86 W/M2

Iluminación artificial: tipo LED apagada durante el día, encendida desde las 6:00 PM hasta las 6:00 AM del siguiente día con una carga de 2,5 W/M2-100 lux

Rango de confort: se tomó el rango más estricto de la teoría de Aulliciems, 24.2°C a 28.2°C.

Espacios de simulación: se realizó simulación de espacios con ocupación permanente, es decir, sólo la zona de información/recepción.

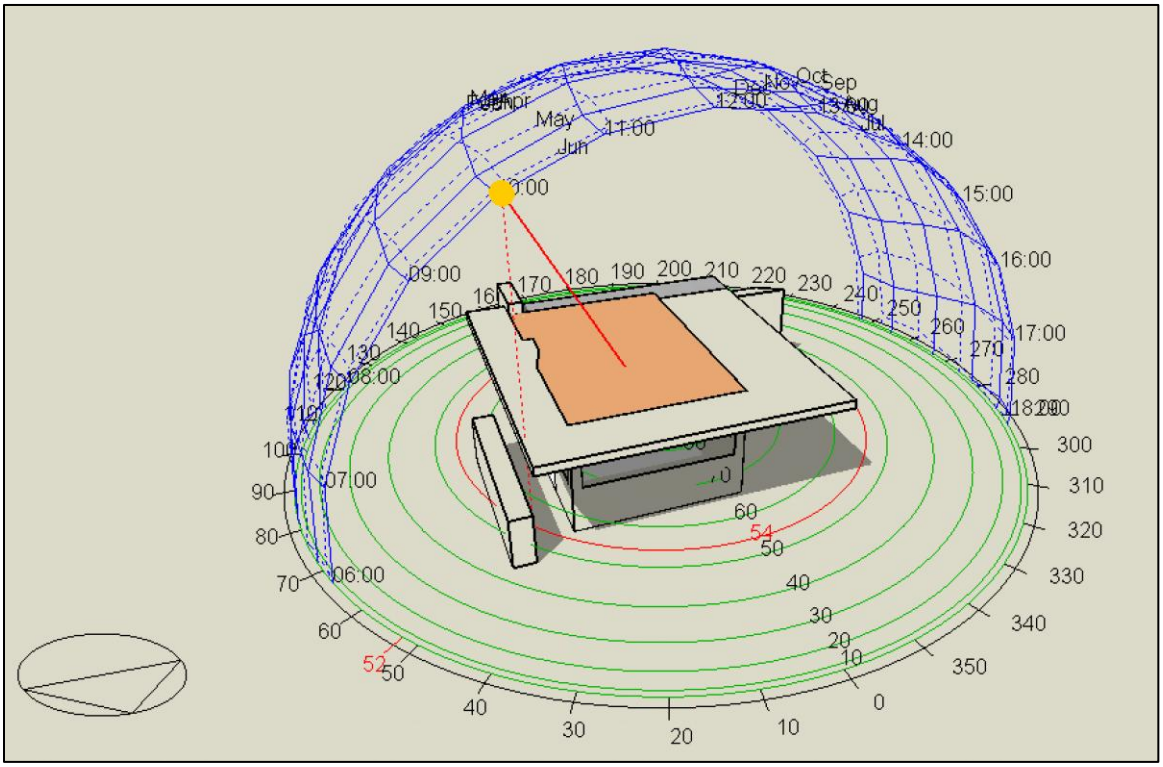


Figura 56. Simulación solar
Fuente: Elaboración propia a partir del software Design Builder

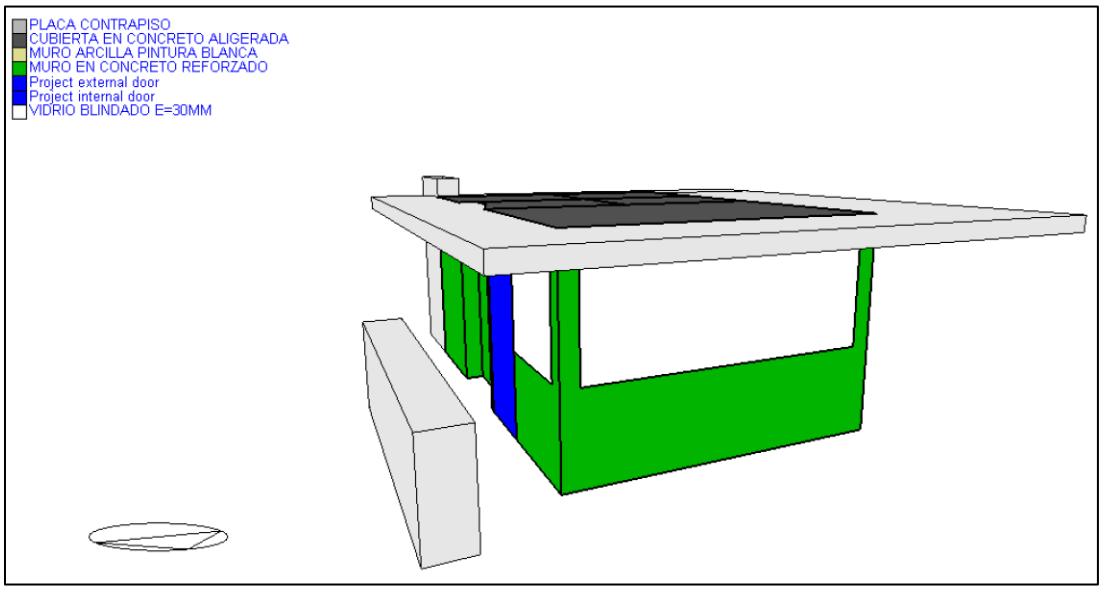


Figura 57. Simulación componentes sistema constructivo
Fuente: Elaboración propia a partir del software Design Builder

5.2.2. Simulación térmica y de estrés de confort índice PMV Fanger

SIMULACIÓN LÍNEA BASE SIN APOYO MECÁNICO:

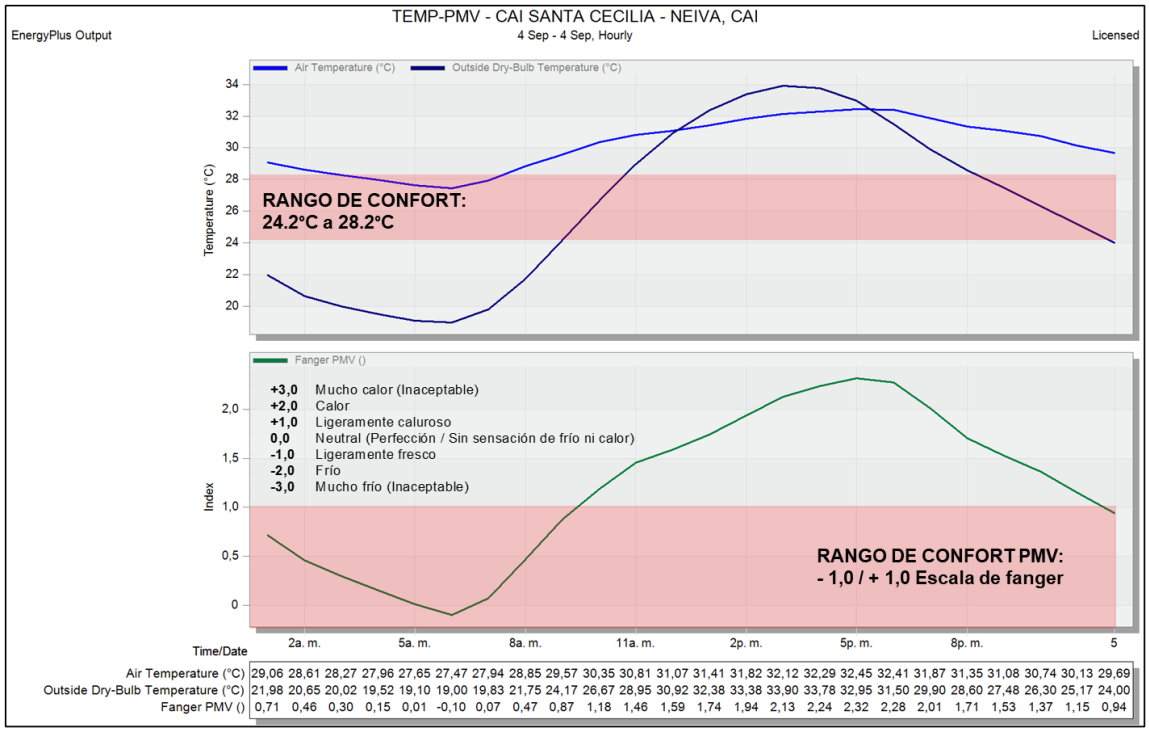


Figura 58. Evolución de la temperatura interior e índice PMV de confort línea base sin apoyo mecánico
Fuente: Elaboración propia a partir del software Design Builder

Temperatura del aire máxima interna: 32,45°C / fuera de rango de confort

Rango de horas fuera de rango confort: 22 horas

Índice PMV de confort: entre -0,10 y 2,32 / Entre calor y mucho calor (Inaceptable)

Rango de horas de estrés térmico: desde 10:00 AM hasta las 12:00 de la media noche con sensación de calor y mucho calor

SIMULACIÓN CON APOYO MECÁNICO:

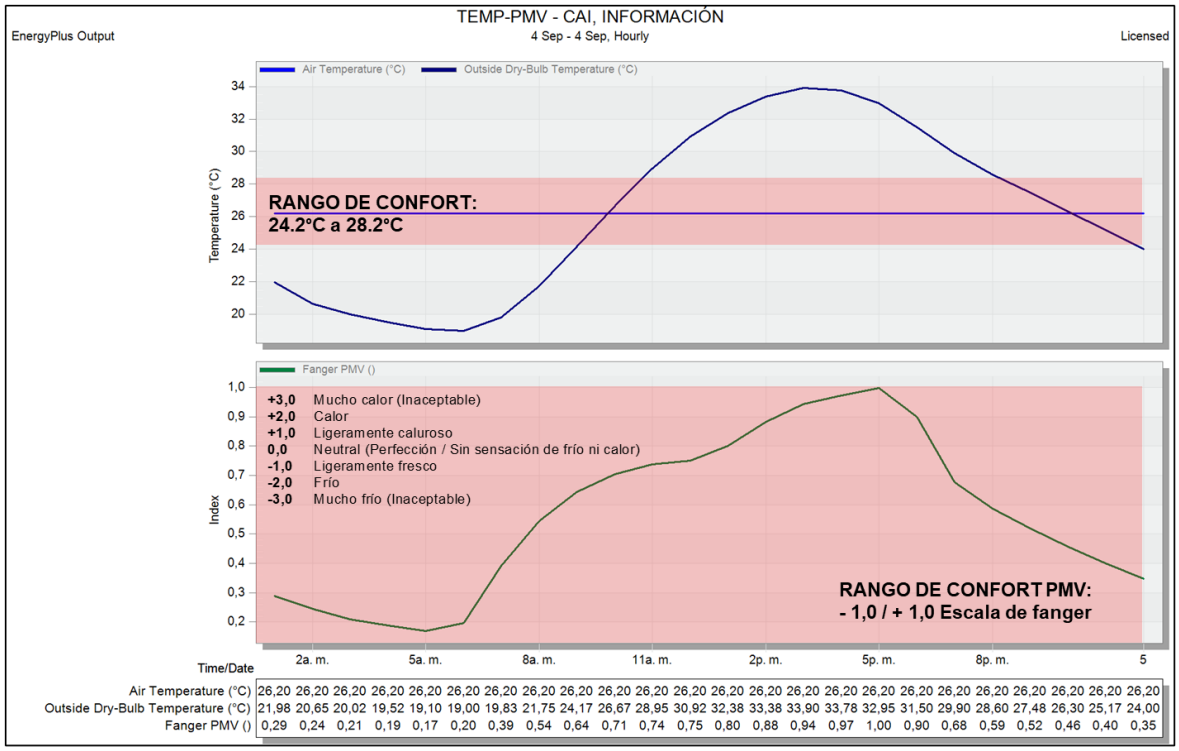


Figura 59. Evolución de la temperatura interior e índice PMV de confort con apoyo mecánico
Fuente: Elaboración propia a partir del software Design Builder

Temperatura del aire máxima interna: 26,2°C / dentro de rango de confort con "set point" a la temperatura neutral calculada

Rango de horas fuera de rango confort: 24 horas en confort

Índice PMV de confort: entre 0,17 y 1,0 / entre neutral (sin frío ni calor) a ligeramente caluroso

Rango de horas de estrés térmico: las personas no se encuentran en nivel de estrés térmico

5.2.3. Conclusiones

Se ratifica la necesidad de apoyo mecánico para nivelar la temperatura interna a la neutral calculada, se observa que el índice PMV de confort está entre 0,17 y 1,0 (entre neutral - sin frío ni calor - a ligeramente caluroso). Esto se debe a las condiciones exteriores que fluctúan entre el día (cuando se producen mayores ganancias de calor por la envolvente arquitectónica por radiación solar) y la noche (cuando las ganancias de calor son menores por no haber radiación solar)

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Auliciems A. (1981). Towards a psycho-physiological model of thermal perception. International Journal Biometeorology. 25, 109-122.
- Serra, R. (1999). Arquitectura y climas. Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili S.A.
- Gómez G, (2016). Temperaturas y Humedades Relativas, Cálculo de Medias horarias. Hoja de cálculo de Microsoft Excel ® Clima y Bioclima desarrollada por Gómez (2016), Universidad de Colima, México
- García J. – Fuentes V. (2005). Viento y Arquitectura. El viento como factor de diseño arquitectónico. México D.F., México: Editorial Trillas S.A. de C.V.
- Koenigsberger O (1977), Ingersoll T. (1977), Mayhew A. (1977), Szokolay S. (1977). Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales. Magallanes, España: Editorial Paraninfo.

Realización,

Ms. Arq. **JORGE EDUARDO ACOSTA ACOSTA**
Magister en Arquitectura Bioclimática
Arquitecto Universidad Piloto de Colombia
Magister Escuela de Arquitectura y diseño ISTHMUS, Panamá
Magister Universidad Colima, México
(doble titulación)